

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและ

สารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

บริเวณริมถนนฉลองกรุง

**ANALYSIS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND
ORGANIC CARBONS IN PM₁₀ AT CHALONGKRUNG ROADSIDE**



T117204

นักтр ต้นศิริ

ปิยาภรณ์ เปรมใจ

พัชรภรณ์ ทิพยา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....117204
วันเดือนปี.....19 ก.ค. 2554

b.....12341513
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2553
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANALYSIS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND
ORGANIC CARBONS IN PM₁₀ AT CHALONGKRUNG ROADSIDE**



**NAPAT TANSIRI
PIYAPORN PREMJAI
PATCHARAPORN TIPPAYA**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2010
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอนและสารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละออง
ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง
Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and
Organic Carbons in PM₁₀ at Chalongkrung Roadside

นักศึกษา

นางสาวนภัทร ต้นศิริ รหัสประจำตัว 50050460
นางสาวปิยาภรณ์ เปรมใจ รหัสประจำตัว 50050468
นางสาวพัชรภรณ์ ทิพยา รหัสประจำตัว 50050474


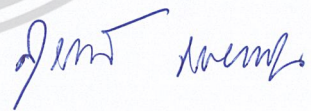
สาขาวิชา

เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	
ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับหน่วยงานนี้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและสารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง
นักศึกษา	นางสาวนภัทร ต้นศิริ รหัสประจำตัว 50050460 นางสาวปิยาภรณ์ เปรมใจ รหัสประจำตัว 50050468 นางสาวพัชราภรณ์ ทิพยา รหัสประจำตัว 50050474
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอนที่ดูดซับบนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่อง GC-MS/SIM และ TOC Analyzer เก็บตัวอย่างฝุ่นบนกระดาษกรองควอตซ์ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรมาก ที่อัตราการไหลประมาณ 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 ถึง เดือน มีนาคม พ.ศ.2554 จากผลการทดลองพบว่า มีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนระหว่าง 79.58-115.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และในฝุ่นละอองพบเนฟทาลินมีความเข้มข้นระหว่าง 7.86-17.21 $\mu\text{g}/\text{g}$ และมีค่า TOC 49.36-54.82% โดยความเข้มข้นเนฟทาลินและร้อยละ TOC มีความสัมพันธ์แบบถดถอย

คำสำคัญ : สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารอินทรีย์คาร์บอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organic Carbons in PM ₁₀ at Chalongkrung Roadside	
Students	Napat Tansiri	Student ID. 50050460
	Piyaporn Premjai	Student ID. 50050468
	Patcharaporn Tippaya	Student ID. 50050474
Degree	Bachelor of Science	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Year	2010	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon	

Abstract

This project studied types and concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and organic carbon in PM₁₀ at Chalongkrung roadside in front of Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang using GC-MS/SIM and TOC Analyzer. Samples were collected on quartz fiber filters using high-volume sampler at a flow rate of 67.8 m³/hr, from November 2010 to March 2011. The results show that PM₁₀ concentrations were ranged from 79.58-115.33 µg/m³, which is lower than the standard level (120 µg/m³). The concentrations of naphthalene in PM₁₀ were ranged from 7.86-17.21 µg/g and TOC were 49.36-54.82%. It was found that naphthalene concentrations and % TOC were related in term of negative linear regression.

Key words : Polycyclic aromatic hydrocarbons, Organic carbons, PM₁₀, Naphthalene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ การดูแลเอาใจใส่ และการอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ จากบุคลากรหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ และช่วยเหลือเอาใจใส่ในการดำเนินโครงการพิเศษเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และ ผศ.ดร. ชมพูนุช ไชยรักษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้เป็นกรรมการตรวจโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำและชี้แนวทางในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สมศรี บัณฑิตวิไล อาจารย์ประจำสาขาวิชาสถิติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ผศ.ดร. นันทิกา เบญจเทพานันท์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำเรื่องการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ

ขอขอบพระคุณ คุณสุดใจ แก้วหนู เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และอำนวยความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์ ที่ทำให้โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ให้ยืมอุปกรณ์ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาว นภัทร ต้นศิริ

นางสาว ปิยาภรณ์ เปรมใจ

นางสาว พัชรภรณ์ ทิพยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	3
2.1.1 การเกิดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	4
2.1.2 แหล่งกำเนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	6
2.1.3 การจำแนกแหล่งที่มาของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้อัตราส่วนเฉพาะ	7
2.1.4 ความเป็นพิษของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	8
2.1.5 การสลายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ	16
2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก-	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.7 การใช้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในทางอุตสาหกรรม	23
2.1.8 การปนเปื้อนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในสิ่งแวดล้อม	24
2.2 ฟูลิเคอรีน	26
2.2.1 กลไกการเกิดฟูลิเคอรีน	26
2.2.2 แหล่งกำเนิดของฟูลิเคอรีนในบรรยากาศ	26
2.2.3 ขนาดของฟูลิเคอรีน	27
2.2.4 องค์ประกอบของฟูลิเคอรีน	28
2.2.5 การแพร่กระจายของฟูลิเคอรีนในบรรยากาศ	29
2.2.6 ผลกระทบของฟูลิเคอรีนในบรรยากาศ	30
2.2.7 มาตรฐานฟูลิเคอรีนในบรรยากาศ	31
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	36
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	36
3.1.1 อุปกรณ์	36
3.1.2 สารเคมี	37
3.2 การเก็บตัวอย่างฟูลิเคอรีน	37
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฟูลิเคอรีน	37
3.2.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	38
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	39
3.3.1 การเก็บตัวอย่างฟูลิเคอรีนด้วยเครื่องเก็บฟูลิเคอรีนปริมาณมาก	39
3.3.2 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอน โดยใช้เครื่อง TOC Analyzer	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง	40
3.3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน	40
3.3.2.3 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของแข็งโดยใช้เครื่อง TOC Analyzer จาก Solid Sample Module for TOC Analyzer	40
3.3.3 การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	41
3.3.3.1 การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด	41
3.3.3.2 การวิเคราะห์หาร้อยละการกลับคืนของสารตัวอย่างสารประกอบ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	44
4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.	44
4.2 ผลการศึกษาร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	46
4.3 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก - ไฮโดรคาร์บอน	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก การเตรียมกระดาษกรองควอตซ์	58
ภาคผนวก ข การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	60
ภาคผนวก ค ร้อยละ TOC	65
ภาคผนวก ง สารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	67
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนวงเบนซีน n วง	5
2.2 แหล่งที่มาของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญ	6
2.3 การเปรียบเทียบอัตราส่วนเฉพาะของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ	8
2.4 สมบัติและความเป็นสารก่อมะเร็งของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	10
2.5 LD ₅₀ ของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสัตว์ทดลอง	15
2.6 ค่าครึ่งชีวิตของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการเกิดปฏิกิริยาโดยแสงในสิ่งแวดล้อมต่างๆ	17
2.7 การใช้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรมต่าง ๆ	23
2.8 ปริมาณของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในไอเสียรถยนต์	25
2.9 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ	32
3.1 สภาพของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเครื่อง GC-MS	42
ข - 1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	62
ข - 2 สภาพก่อนและหลังเก็บตัวอย่างในแต่ละวัน	63
ข - 3 สภาพทั่วไปบริเวณที่เก็บตัวอย่างในแต่ละวัน	64
ค - 1 ร้อยละ TOC	66
ง - 1 พื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสมสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด	71
ง - 2 พื้นที่ได้กราฟของสารละลายตัวอย่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ($\mu\text{g/g}$)	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง - 3 ความเข้มข้นของตัวอย่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ($\mu\text{g/g}$)	73
ง - 4 ค่าการคืนกลับของสารละลายมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	74
จ - 1 ANOVA ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	76
จ - 2 ANOVA ของร้อยละ TOC	76
จ - 3 Pearson correlation	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การจัดเรียงตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	5
2.2 ไอโซเมอร์ทั้ง 5 ของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีวงเบนซีน 4 วง และมีน้ำหนักโมเลกุล 228 กรัมต่อโมล	9
2.3 โครงสร้างของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด	11
2.4 ลักษณะของอนุภาคและการดูดซับของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนอนุภาค	19
2.5 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นต่าง ๆ	27
2.6 ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ต่อระบบทางเดินหายใจ	31
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ริมนถนนคลองกรุงหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. (ก) และ background บริเวณหลังสนามเบดมินตัน สจล. (ข)	38
4.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณถนนคลองกรุงหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.	44
4.2 ร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	46
4.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ก) โครมาโทแกรมของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของตัวอย่างที่ทำการเก็บในวันที่ 11/01/2554 (ข)	48
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC และความเข้มข้นของเนฟทาซีน ($\mu\text{g/g}$)	49
ง-1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
NAP	Naphthalene
ACY	Acenaphthylene
ACE	Acenaphthene
FLU	Fluorene
PHE	Phenanthrene
ANT	Anthracene
FLA	Fluoranthene
PYR	Pyrene
BaA	Benz(a)anthracene
CHR	Chrysene
BbF	Benzo(b)fluoranthene
BkF	Benzo(k)fluoranthene
BaP	Benzo(a)pyrene
InP	Indeno(1,2,3-cd)pyrene
DbA	Dibenzo(a,h)anthracene
BgP	Benzo(g,h,i)perylene
PAHs	สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติไฮโดรคาร์บอน
TOC	สารอินทรีย์คาร์บอน
TC	คาร์บอนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
IC	อินทรีคาร์บอน
ng/m^3	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
$\mu\text{g/m}^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
$\mu\text{g/mL}$	ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
$\mu\text{g/m}^2\text{day}$	ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
$\mu\text{g/g}$	ไมโครกรัมต่อกรัม
m/s	เมตรต่อวินาที
mg	มิลลิกรัม
μm	ไมโครเมตร
mL	มิลลิลิตร
Hz	เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบได้ตามธรรมชาติเช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน ควันทูเขาไฟ เป็นต้น และที่มนุษย์สร้างขึ้นได้แก่ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อุตสาหกรรม ยานพาหนะ ซึ่งสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน แม้จะไม่มีข้อมูลจาก International Agency for research on cancer (IARC) ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคนแต่พบว่าสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาว่าสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสาเหตุหรือมีส่วนที่ทำให้เกิดมะเร็งในคน นอกจากนี้ ยังเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์อีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

อินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนประกอบสำคัญพบในอนุภาคที่แขวนลอยขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ในอากาศ เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและสารจำพวกชีวมวลมีบทบาทสำคัญต่อการทำให้คุณภาพของอากาศเสื่อมโทรมลงและมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่บนอนุภาคแขวนลอยในอากาศจะดูดซับแสงอาทิตย์ ทำให้บรรยากาศร้อนขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อปัญหาภาวะโลกร้อน รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพด้วยเนื่องจากเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เมื่อหายใจเข้าไปจะสะสมได้ในปอด (H'oller และคณะ, 2002; Watson, 2002; Bond และคณะ, 2004) นอกจากนี้ ยังพบว่าอินทรีย์คาร์บอนยังเป็นตัวดูดซับที่ดีให้กับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอีกด้วย (Molnar และคณะ, 1999)

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อสำรวจและเป็นแนวทางในการป้องกันสุขภาพอนามัยของบุคลากรและนักศึกษาภายในคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนตลอดกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยเครื่อง High-volume air sampler บริเวณริมถนนตลอดกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยอัตราการไหล 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บในวันทำการ (จันทร์-ศุกร์) ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2553 – มีนาคม 2554
2. วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งกระดาษกรอง 4 ตำแหน่ง
3. วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS/SIM)
4. วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้เครื่อง Total Organic Carbon Analyzer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนตลอดกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ทราบชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนบริเวณริมถนนตลอดกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาสุขภาพอนามัยของบุคลากรและนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons) หรือสารประกอบพีเอเอช (PAHs) ประกอบด้วยกลุ่มของสารประกอบที่มีวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วง เชื่อมต่อกัน โดยวงอะโรมาติกที่อยู่ติดกันใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ สารประกอบพีเอเอชที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) สารประกอบพีเอเอชที่อยู่ในรูปก๊าซ (gas phase) และ 2) สารประกอบพีเอเอชที่เกาะอยู่กับอนุภาคฝุ่นละออง (particulate phase) สารประกอบพีเอเอชมีจุดเดือดระหว่าง 150 - 325 องศาเซลเซียสและจุดหลอมเหลวระหว่าง 101 - 438 องศาเซลเซียส จึงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในสถานะก๊าซในสภาวะที่มีความดันไอต่ำ จากนั้นสารประกอบพีเอเอชมักจะรวมตัวกับอนุภาคในบรรยากาศจึงกลายเป็น particulate PAHs (p-PAHs) ซึ่งสารประกอบพีเอเอชที่อยู่ในรูปอนุภาคของฝุ่นมีค่าครึ่งชีวิตที่นานกว่า สารประกอบพีเอเอชที่อยู่ในรูปก๊าซเนื่องจากสารประกอบพีเอเอชที่ยึดเกาะอยู่ในรูปอนุภาคของฝุ่นละอองสามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ รวมถึงอัตราการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง เมื่อเทียบกับสารประกอบพีเอเอชที่อยู่ในรูปก๊าซที่สามารถสลายตัวโดยปฏิกิริยาของแสงกับไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (N_2O_5) ไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และเพอรอกซี-แอซีทิลไนเตรต (peroxyacetyl nitrate, PAN) (ATSDR, 1995)

การแพร่กระจายของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ได้แก่ ค่าการละลายน้ำ (water solubility) ค่าความดันไอ (vapor pressure) ค่าคงที่ของเฮนรี (Henry's law constant) สัมประสิทธิ์การพาที่ชั้นของออกทานอลกับน้ำ (Octanal-water partition coefficient, K_{ow}) และสัมประสิทธิ์การพาที่ชั้นของสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon partition coefficient, K_{oc}) จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถแบ่งกลุ่มของสารประกอบพีเอเอช ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยพิจารณาจากน้ำหนักโมเลกุล คือ 1) สารประกอบพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) 152 - 178 กรัมต่อโมล พบอยู่ในรูปของก๊าซ 2) สารประกอบพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (medium molecular weight) 202 กรัมต่อโมล พบอยู่ในรูปก๊าซและอนุภาคฝุ่นละออง และ 3) สารประกอบพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight) 228 - 278 กรัมต่อโมล พบอยู่ในอนุภาคฝุ่นละออง (Baek และคณะ, 1991; ATSDR, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การเกิดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบพีเอเอชเกิดจาก 2 กระบวนการ (Bjorseth และ Ramdahl, 1985) คือ

1) กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบย่อยชนิดต่าง ๆ เริ่มต้นจากชีวมวลได้รับความร้อน ในช่วงแรกเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) จะเกิดการสลายตัว ตามด้วยเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 200-600 องศาเซลเซียส จะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กรดน้ำส้ม (acetic acid) เมทานอล (methanol) และน้ำมันดินเบา (light tar) นอกจากนี้การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน และน้ำมันดินหนัก รวมถึงสารประกอบพีเอเอช ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบพีเอเอชที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน อัตราการเผาไหม้ ชนิดและคุณลักษณะของชีวมวล เป็นต้น

2) การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) เป็นการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อน ในสภาวะที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์โดยมีออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากผิวหน้าของวัสดุชีวมวล ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า เกิดปฏิกิริยา dehydration ได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน (char) และไอน้ำ ส่วนที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า จะเกิดปฏิกิริยา depolymerization ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

การเกิดสารประกอบพีเอเอชขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิสูง สารประกอบพีเอเอช จะประกอบด้วย unsubstituted parent PAHs เป็นส่วนใหญ่ เช่น กระบวนการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้จากเตาเผาขยะ เป็นต้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ (< 700 องศาเซลเซียส) จะประกอบด้วย parent PAHs และ alkyl-substituted PAHs ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป methyl derivatives ในเชื้อเพลิงฟอสซิลเกิดจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นระยะเวลาานานที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง ซึ่ง PAHs profile หรือ relative distribution ของสารประกอบพีเอเอชแต่ละชนิดอาจใช้บอกแหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชได้

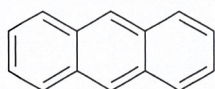
สารประกอบพีเอเอชอาจมีหลายไอโซเมอร์เนื่องจากวงเบนซีนสามารถจัดเรียงตัวในรูป kata-annellated formation หรือ peri-condensed formation โดย kata-annellated formation จะมี tertiary carbon atom อยู่ตรงกลางของ interlinked rings 2 วงที่สามารถจัดเรียงในรูปทั้ง linearly annellated ได้แก่ Anthracene หรือ angularly annellated formation ได้แก่ Phenanthrene ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peri-condensed formation จะมี tertiary carbon atom บางส่วนอยู่ตรงกลางของ interlinked rings 3 วง ได้แก่ Pyrene ดังแสดงในรูปที่ 2.1

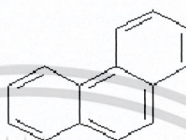
จากการที่สารประกอบฟิเออเชมิวเจนซินหลายวงเป็นองค์ประกอบ ทำให้จำนวนไอโซเมอร์เพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (ตารางที่ 2.1) นอกจากนี้แต่ละ parent PAHs อาจมี oxygenate, nitrated และ sulphonated analogues มาสร้างพันธะทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟิเออเชต่าง ๆ มากมาย

Kata-annellated formation

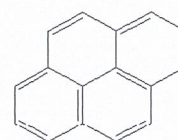


ก) Anthracene

Peri-condensed formation



ข) Phenanthrene



ค) Pyrene

รูปที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Adapted from Zander, 1983)

ตารางที่ 2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนวงเบนซิน n วง (Zander, 1983)

n	Kata-annellated	Peri-condensed	Total
1	1	0	1
2	1	0	1
3	2	1	3
4	5	2	7
5	12	10	22
6	37	45	82
7	123	210	333
8	446	1002	1448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แหล่งกำเนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

แหล่งกำเนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารประกอบพีเอเอชตามกระบวนการธรรมชาติ โดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดไฟป่า และภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารประกอบพีเอเอชที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น แหล่งกำเนิดจากอาคารบ้านเรือน และที่อยู่อาศัย เกิดจากการประกอบอาหาร รวมทั้งการสูบบุหรี่ แหล่งกำเนิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาถ่านหินหรือโรงไฟฟ้า เชื้อเพลิงชีวมวล การเผาขยะ แหล่งกำเนิดจากการคมนาคม เกิดจากการเผาไหม้จากรถยนต์ แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรม เกิดจากการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่การเพาะปลูก ได้แก่ การเผาฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น ตัวอย่างสารประกอบพีเอเอชที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญ

(ATSDR, 1995 และ Keshtkar และ Ashbaugh, 2007)

แหล่งกำเนิด (sources)	PAHs predominant
การเผาไหม้จากยานที่อยู่อาศัย	Acenaphthylene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปฝุ่น	Fluoranthene, Phenanthrene, Pyrene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปก๊าซ	Phenanthrene, Anthracene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในรูปฝุ่นและก๊าซ	Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene
ถ่านล้อยและถ่านหนัก	Phenanthrene
เตาเผาขยะเทศบาล	Benzo(g,h,i)perylene
เตาเผาขยะชุมชน	Fluoranthene, Benzo(a)fluoranthene, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Phenanthrene, Chysene
เตาเผาขยะทางการแพทย์	Benz(a)anthracene, Benzo(g,h,i)perylene
เตาเผาขยะแบบหมุน	Benz(a)anthracene, Phenanthrene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) แหล่งกำเนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญ
(ATSDR, 1995 และ Keshtkar และ Ashbaugh, 2007)

แหล่งกำเนิด (sources)	PAHs predominant
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chrysene, Pyrene, Fluoranthene
ควันบุหรี่	Benzo(a)pyrene
น้ำมันดิน (coal tar pitch)	Phenanthrene, Pyrene
การเผาไหม้ฟางข้าว	Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene

2.1.3 การจำแนกแหล่งที่มาของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ อัตราส่วนเฉพาะ

การบ่งชี้แหล่งที่มาของสารประกอบพีเอเอชโดยสามารถจำแนกได้โดยใช้อัตราส่วนเฉพาะของสารประกอบพีเอเอช จากงานวิจัยของ Li และ Kamens (1993), Guo และคณะ (2003), Daisy และคณะ (1986), Masclet และคณะ (1987), Rogge และคณะ (1993) และ Menichini และคณะ (1999) ได้ศึกษาอัตราส่วนเฉพาะของสารประกอบพีเอเอชที่จับกับอนุภาคฝุ่นละออง ซึ่งมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล และก๊าซโซลีน Jenkins และคณะ, (1996a, b) ได้ศึกษาอัตราส่วนเฉพาะของสารประกอบพีเอเอชที่จับกับอนุภาคฝุ่นละออง ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของฟางข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบอัตราส่วนเฉพาะของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ (Yang และคณะ, 2006)

อัตราส่วนเฉพาะ	BaA/Chr	Flu/(Flu+Pyr)	BaP/InP	BaP/BgP	BaP/BeP	BbF/BkF	InP/(BgP+InP)
1) ไอเสียเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน	-	-	3.5 ^a	1.25 ^b	0.31 ^c	-	0.17 ^d
2) ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล	-	-	1.1 ^a	0.46-0.81 ^c	0.45 ^c	-	0.3-0.7 ^c
3) การเผาไหม้	0.62, 0.66-0.93 ^h	0.74 ^h	-	-	-	0.76-1.08 ^e	-
4) การเผาฟางข้าว	-	-	0.67 ^f	2.0 ^f	0.73 ^f	-	0.64 ^f

^aLi และ Kamens (1993), ^bMasclet และคณะ (1987), ^cMenichini และคณะ (1999), ^dDaisey และคณะ (1986), ^eRogge และคณะ (1993), ^fJenkins และคณะ (1996 a,b), ^eDickhut และคณะ (2000), ^hKavouras และคณะ (2001)

2.1.4 ความเป็นพิษของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

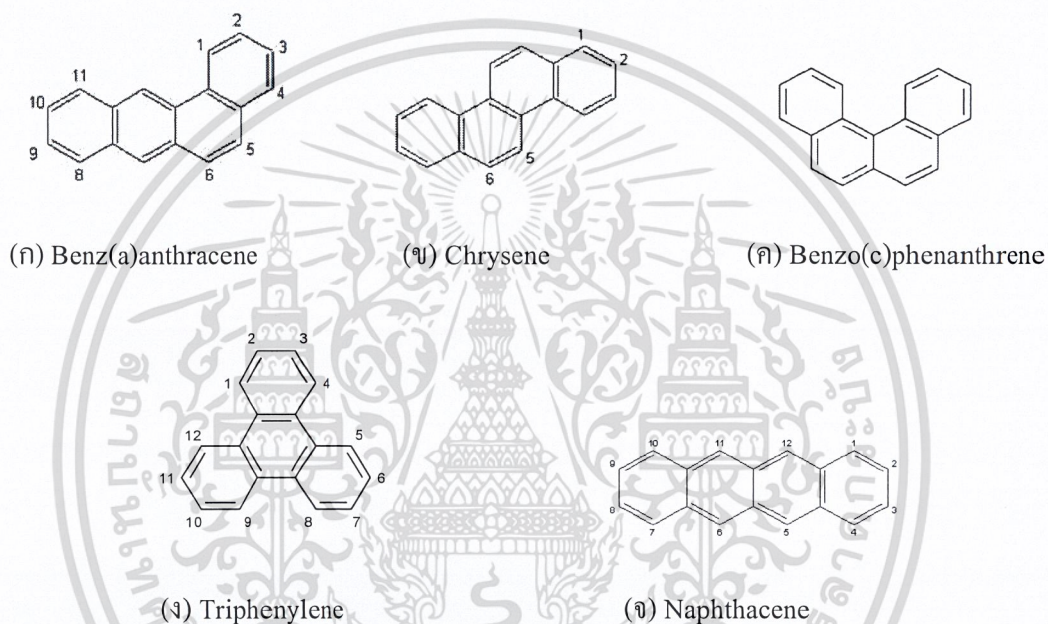
1) สารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

สารประกอบพีเอเอชจัดเป็นสารมลพิษอากาศที่สำคัญกำหนดใน Clean Air Act ปี ค.ศ.1990 ของประเทศสหรัฐอเมริกา และ International Agency for Research on Cancer (IARC) เนื่องจากสมบัตความเป็นสารที่อาจจะก่อหรือร่วมก่อให้เกิดมะเร็งได้ (IARC, 1984) อย่างไรก็ตาม สารประกอบพีเอเอชจะเป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสารประกอบพีเอเอช ตัวอย่าง เช่น สารประกอบพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติก 4 วง และมีมวลโมเลกุล 228 กรัมต่อโมล พบว่า Benz(a)anthracene, Chrysene และ Benzo(c)phenanthrene เป็นสารก่อมะเร็งในขณะที่ Triphenylene และ Naphthacene ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (รูปที่ 2.2) นอกจากนี้ alkyl group ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงอะโรมาติกจะมีผลต่อความสามารถในการก่อมะเร็ง ตัวอย่างเช่น Chrysene และ Methyl derivatives ของ Chrysene ดังแสดงในตารางที่ 2.4

U.S. EPA ได้กำหนดสารประกอบฟีนอลที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ 16 ชนิด (รูปที่ 2.3) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่ก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และรูปที่ 2.3 (IARC, 1984, U.S. EPA, 1986)



รูปที่ 2.2 ไอโซเมอร์ทั้ง 5 ของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีวงเบนซีน 4 วง และมีน้ำหนักโมเลกุล 228 กรัมต่อโมล (Lee and Wright, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

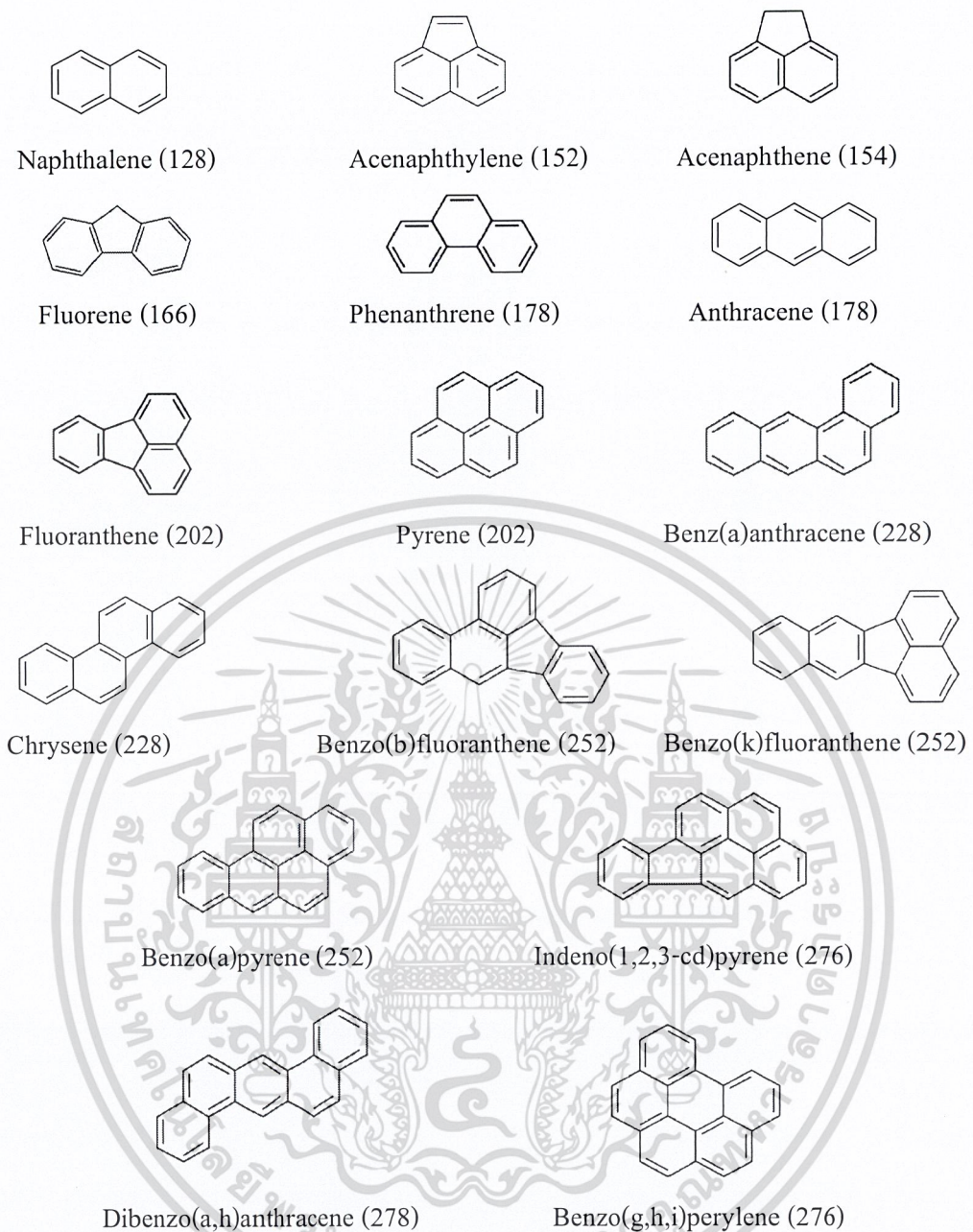
ตารางที่ 2.4 สมบัติและความเป็นสารก่อมะเร็งของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน (IARC, 1984 และ U.S. EPA, 1986)

Compounds	Molecular formular	Vapour pressure (mm Hg) ^a	K _{ow}	Henry's law constant (atm-m ³ /mol)	Boiling point (°C)	Carcinogenic potency classification	
						U.S.EPA ^b	IARC ^c
NAP	C ₁₀ H ₈	4.9×10 ⁻²	3.50	4.83×10 ⁻⁴	218	D	2B
ACY	C ₁₂ H ₈	2.9×10 ⁻²	4.07	1.45×10 ⁻²	265-280	D	3
ACE	C ₁₂ H ₁₀	4.47×10 ⁻³	3.98	7.91×10 ⁻²	278-279	N/A	3
FLU	C ₁₃ H ₁₀	3.2×10 ⁻³	4.18	1.0×10 ⁻⁴	293-295	N/A	3
PHE	C ₁₄ H ₁₀	6.8×10 ⁻⁴	4.45	2.56×10 ⁻⁵	339-340	D	3
ANT	C ₁₄ H ₁₀	1.7×10 ⁻⁵	4.45	1.77×10 ⁻⁵	340	D	3
FLA	C ₁₆ H ₁₀	5.0×10 ⁻⁶	4.90	6.5×10 ⁻⁶	339-340	D	3
PYR	C ₁₆ H ₁₀	2.5×10 ⁻⁶	4.88	1.14×10 ⁻⁵	360-404	D	3
BaA	C ₁₈ H ₁₂	2.2×10 ⁻⁹	5.61	1.0×10 ⁻⁶	435	B2	2B
CHR	C ₁₈ H ₁₂	6.3×10 ⁻⁷	5.16	1.05×10 ⁻⁶	442-448	B2	2B
BbF	C ₂₀ H ₁₂	5.0×10 ⁻⁷	6.04	1.22×10 ⁻⁵	482	B2	2B
BkF	C ₂₀ H ₁₂	9.56×10 ⁻¹¹	6.06	3.87×10 ⁻⁵	472-480	B2	2B
BaP	C ₂₀ H ₁₂	5.0×10 ⁻⁹	6.06	4.9×10 ⁻⁷	493-496	B2	1
InP	C ₂₂ H ₁₂	~10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁶	6.58	6.95×10 ⁻⁸	536	B2	2B
DbA	C ₂₂ H ₁₄	~1.0×10 ⁻¹⁰	6.84	7.3×10 ⁻⁸	524	B2	2A
BgP	C ₂₂ H ₁₂	~10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁶	7.64	1.44×10 ⁻⁷	525	N/A	3

หมายเหตุ : ^aATSDR, 1995, ^bU.S.Environmental Protection Agency(B2 : สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (Probable human carcinogen)D : ไม่สามารถจำแนกได้ (Not classifiable)N/A : ไม่สามารถหาได้ (Not available))

^cInternational Agency for Research on Cancer(1 : สารที่ก่อมะเร็งในคน (Carcinogen to humans)2A: สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (Probably carcinogen to humans)2B: สารที่อาจจะก่อมะเร็งในคน (Possibly carcinogen to humans)3: ไม่สามารถจำแนกได้ (Not classifiable carcinogen to humans))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด (U.S. EPA, 1986)

2) การเป็นสารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

สารประกอบพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วย และสารประกอบพีเอเอชต้องถูกเมตาบอลิซ์โดย cytochrome P-450 เป็น epoxide ก่อนจึงสามารถรวมตัวกับ DNA ได้ผลของปฏิกิริยาที่มีความคงตัวสูง สามารถแยกได้จากสัตว์ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และการศึกษาเกี่ยวกับเอกสารนี้เมื่ออยู่ในระดับสูงจะเห็นผลในด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ (Synergism/Antagonism)

โดยทั่วไป สารประกอบพีเอเอชที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ อยู่ในรูปของสารผสมมากกว่าในรูปของสารเดี่ยวและอาจมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่สารประกอบพีเอเอชปะปนอยู่ด้วยเช่น สาร Nicotine ที่ปะปนกับสารประกอบพีเอเอชในควันบุหรี่ เส้นใยแอสเบสตอสที่ปะปนกับสารประกอบพีเอเอชในผงเขม่าจากโรงงาน เป็นต้น การเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างสารประกอบพีเอเอชด้วยกันเองและระหว่างสารประกอบพีเอเอชกับสารอื่น ๆ จึงอาจเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและภายหลังการได้รับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากสารประกอบพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็งและก่อกลายพันธุ์จะต้องถูกเมตาโบไลซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นเมตาโบไลต์ที่มีความเป็นพิษและสามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สำคัญของเซลล์ เช่น DNA, RNA และโปรตีนได้ ดังนั้นการยับยั้งหรือกระตุ้นเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของสารประกอบพีเอเอชไม่ว่าจะเนื่องจากสารประกอบพีเอเอชด้วยกันเองหรือจากสารพิษชนิดอื่นย่อมมีผลในการเสริมหรือต่อต้านความเป็นพิษของสารประกอบพีเอเอชได้

Benzo(a)pyrene เป็นสารก่อมะเร็งที่มีฤทธิ์แรงจากการศึกษาในหนูที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ร่วมกับสารประกอบพีเอเอชชนิดอื่นที่มีฤทธิ์ก่อมะเร็งอย่างอ่อนหรือไม่มีฤทธิ์ก่อมะเร็ง ได้แก่ Benzo(e)pyrene, Benzo(g,h,i)pyrene, Fluoranthene และ Pyrene พบว่าสารเหล่านี้ทำให้ฤทธิ์ก่อมะเร็งของ Benzo(a)pyrene เพิ่มมากขึ้น โดย Benzo(e)pyrene, Fluoranthene และ Pyrene สามารถเสริมฤทธิ์ของ Benzo(a)pyrene ได้มากกว่า Benzo(g,h,i)pyrene และพบว่าสารเหล่านี้ทำให้ปริมาณของสารประกอบระหว่าง Benzo(a)pyrene และ DNA เพิ่มมากขึ้นด้วย

4) ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxicity)

ไม่มีรายงานความเป็นพิษต่อระบบประสาทจากการได้รับสารประกอบพีเอเอชยกเว้น Naphthalene ที่มีรายงานว่าทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กทารกได้ เช่น มีอาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลงมีดิซ่านในสมอง (kernicterus) อาการเหล่านี้เข้าใจว่าเกิดจากการขาดออกซิเจนในสมอง ซึ่งเป็นผลของภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแดงแตก (hemolytic anemia)

5) การระคายเคืองเบื้องต้น (Primary irritation)

สารประกอบพีเอเอชบางชนิดสามารถก่อเกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อต่าง ๆ

Anthracene ทำให้อาการแพ้แสง (photosensitivity) ได้ทั้งในคนและในสัตว์ทดลอง มีรายงานว่าคนที่ได้สัมผัสกับ Anthracene เกิดการอักเสบอย่างเฉียบพลันของผิวหนัง คือ มีอาการบวมแดง แสบร้อน และคันบริเวณที่ได้รับสัมผัส นอกจากนี้ Anthracene ยังทำให้เกิดการระคายเคืองของดวงตา เยื่อตาอักเสบ ตาแดง หนังตาบวม น้ำตาไหล แพ้แสง และมีการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจส่วนบนร่วมด้วย อาการคันเฉียบพลันเหล่านี้กลับหายเป็นปกติได้ในเวลาหลายวันหลังจากการได้รับ Anthracene หากได้รับเป็นระยะเวลานานผิวหนังส่วนที่ได้รับสัมผัสมีสีเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ไว้สำหรับการใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่สามารถพิมพ์ไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นส่วนบนของผิวหนังหนาและค้ำ และมีการพองตัวของเส้นโลหิตฝอยของผิวหนังในบริเวณนั้น ในบางกรณีอาจมีการอักเสบของเยื่อทางเดินอาหารเกิดขึ้น แสงอัลตราไวโอเล็ตมีส่วนร่วมในการก่อความระคายเคืองของ Anthracene โดยแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร สามารถกระตุ้นให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่าง DNA และ Anthracene เพิ่มขึ้น การทดสอบในหนู mouse สายพันธุ์ที่ไม่มีขน โดยการป้ายสารละลาย Anthracene บนผิวหนังส่วนหลังแล้วส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลานาน 40 นาที พบว่ามีการอักเสบของผิวหนังอย่างรุนแรง และมากกว่าในหนูชนิดเดียวกันที่ได้รับแต่ Anthracene หรือแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียว Pyrene ทำให้เกิดอาการแพ้แสงของผิวหนังได้อย่างรุนแรงในหนูตะเภา

Benzo(a)pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อทางเดินหายใจ มีรายงานว่าคนที่ได้รับ Benzo(a)pyrene โดยการหายใจ มีอาการไอ หลอดลมอักเสบ การได้รับ Benzo(a)pyrene หรือน้ำมันดิบซึ่งมีสารประกอบพีเอเอชหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ โดยการสัมผัสทางผิวหนังทำให้เกิดอาการผดผื่นของผิวหนัง คือ เป็นหูด นอกจากนี้ยังมีอาการแสบร้อน ไวต่อแสง และมีตุ่มหนองเกิดขึ้น อาการเหล่านี้รุนแรงมากขึ้นเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต Benz(a)anthracene ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจในมนุษย์ สำหรับในสัตว์ทดลองพบว่า Benz(a)anthracene ทำให้เกิดการระคายเคืองเยื่อทางเดินหายใจ และการตรวจทางพยาธิของเยื่อทางเดินหายใจ พบว่ามีการบวม น้ำ มีการแทรกตัว (infiltration) ของเม็ดเลือดขาวชนิด granulocyte และ mononuclear cells เข้าไปในเยื่อทางเดินหายใจ และมีจำนวนเซลล์สร้างเส้นใย (fibroblast) เพิ่มขึ้น ในระยะท้ายของการทดลองพบว่ามีภาวะการเกิดพังผืด (fibrosis) ทางเดินหายใจ

6) ผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อน (Embryotropic action)

ไม่พบรายงานผลของสารประกอบพีเอเอชต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในมนุษย์ มีเพียงรายงานผลของ Benzo(a)pyrene ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเท่านั้น หนูที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ระหว่างการตั้งท้องทำให้การพัฒนาของตัวอ่อนผิดปกติไป คือ อัตราการรอดชีวิตของลูกหนูเมื่อคลอดลดลง การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของลูกหนูที่มีชีวิตลดลง ตัวอ่อนมีการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์อย่างผิดปกติ คือ เซลล์สืบพันธุ์มีรูปร่างผิดปกติ โดยการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติของลูกหนูเหล่านี้ เมื่อโตเต็มที่จะมีความสมบูรณ์ทางเพศลดลง และบางตัวเป็นหมัน

7) ความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน (Immunotoxicity)

ข้อมูลความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันของสารประกอบพีเอเอชส่วนใหญ่เป็นข้อมูลของ Benzo(a)pyrene การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าการได้รับ Benzo(a)pyrene ทางผิวหนัง สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาของระบบภูมิคุ้มกันแบบ allergic contact hypersensitivity ทำให้การตอบสนองของภูมิคุ้มกันที่มีต่อสารชนิดอื่นลดลง ยับยั้งการสร้างแอนติบอดี และสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของ macrophages, T-cells

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์ (Reproductive toxicology)

ไม่พบรายงานความเป็นพิษของสารประกอบพีเอเอชที่มีต่อระบบสืบพันธุ์ในมนุษย์ และมีสารประกอบพีเอเอชเพียง 2 ชนิด เท่านั้นที่มีรายงานว่าทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ คือ Acenaphthene และ Benzo(a)pyrene

Acenaphthene จากการทดสอบความเป็นพิษของ Acenaphthene ในหนู mouse ทั้งสองเพศ โดยการให้ Acenaphthene เข้ากระเพาะอาหารในขนาดตั้งแต่ 0 – 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน ติดต่อกันนาน 13 สัปดาห์ พบว่าหนูทดลองเพศผู้ไม่มีความผิดปกติใดๆ ของระบบสืบพันธุ์ ในขณะที่หนูทดลองเพศเมียที่ได้รับ Acenaphthene ในขนาด 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน มีน้ำหนักของรังไข่ลดลงอย่างสอดคล้องกับการลดลงของการทำงานของรังไข่และมดลูก

Benzo(a)pyrene จากการทดลองในหนู mouse สายพันธุ์ CD - 1 ที่ได้รับ Benzo(a)pyrene โดยการกรอกเข้ากระเพาะอาหารปริมาณ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน ติดต่อกันนาน 10 วัน ทำให้อัตราการตั้งท้องจนครบกำหนดคลอดของแม่หนูทดลอง และทำให้ลูกหนูที่รอดชีวิตทั้งหมดกลายเป็นหมันเมื่อเติบโตเต็มที่แล้ว นอกจากนี้ หนูที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน ขณะตั้งท้องมีผลทำให้รูปร่างของอวัยวะสืบพันธุ์ และการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ของลูกหนูผิดปกติไป แต่การทดสอบในแม่หนู mouse สายพันธุ์ Swiss ที่ได้รับ Benzo(a)pyrene ผสมในอาหารปริมาณ 133 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน ไม่พบว่าทำให้เกิดอาการผิดปกติใดๆ ของระบบสืบพันธุ์

9) ความผิดปกติที่เกิดในทารก (Teratogenicity)

ไม่มีรายงานความผิดปกติที่เกิดในทารกของสารประกอบพีเอเอชในมนุษย์มีรายงานแต่เพียงของ Benzo(a)pyrene ในสัตว์ทดลอง

10) ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian toxicity)

สารประกอบพีเอเอชมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำในสัตว์ทดลอง การได้รับสารประกอบพีเอเอชในระยะเวลาสั้นมักไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายอย่างเด่นชัดหรือรุนแรง LD₅₀ ในการให้สารประกอบพีเอเอชทางปากในหนู mouse และหนู rat มีค่ามากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว ยกเว้น naphthalene ในหนู mouse มีค่า LD₅₀ 354 – 710 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว LD₅₀ ของสารประกอบพีเอเอชในสัตว์ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.5 รายงานความเป็นพิษเฉียบพลันของสารประกอบพีเอเอชในมนุษย์และสัตว์ทดลองมีดังนี้

Anthracene มีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกายให้มีความไวต่อแสงมากขึ้น (photosensitivity) ในมนุษย์ มีรายงานว่า Anthracene ทำให้เกิดอาการผิดปกติของผิวหนัง คือ แสบร้อน คัน และมีอาการระคายเคืองของเยื่อตาและหลอดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Naphthalene ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (hemolytic anemia) และ ต้อกระจก (cataract) ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง มีรายงานการตายของ คนที่กินลูกเหม็นในขนาด 5 กรัม ผลการชันสูตรร่างผู้ตายพบว่าที่ปอดมีการคั่งของโลหิตและบวม น้ำที่ตับ มีการแทรกตัวของเม็ดเลือดขาวชนิด polymorphonuclear leucocytes และ lymphocytes พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการตายของเด็กอายุ 6 ปีที่ กิน Naphthalene ในขนาด 2.0 กรัม โดยการคำนวณพบว่าปริมาณของ Naphthalene ค่าเท่ากับ 71.4 – 214.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวโดยคิดจากคนที่มีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย 70 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.5 LD₅₀ ของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสัตว์ทดลอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

PAHs	สปีชีส์	วิธีการได้รับสาร	LD ₅₀ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว)
Naphthalene	หนู mouse	ทางปาก	354-710
		ฉีดเข้าท้อง	150-400
	หนู rat	ทางปาก	490-9,430
		ฉีดเข้าท้อง	1,000-1,600
Phenanthrene	หนู mouse	ทางปาก	700-1,000
		ฉีดเข้าท้อง	700
		ฉีดเข้าเส้นเลือด	56
Pyrene	หนู mouse	ฉีดเข้าท้อง	514-678
Fluoranthene	หนู mouse	ฉีดเข้าเส้นเลือด	100
	หนู rat	ทางปาก	2,000
	กระต่าย	ป้ายบนผิวหนัง	3,180
Chrysene	หนู mouse	ฉีดเข้าท้อง	> 320
Anthracene	หนู mouse	ทางปาก	18,000
		ฉีดเข้าท้อง	> 43
Benzo(a)pyrene	หนู mouse	ทางปาก	> 1,600
		ฉีดเข้าท้อง	250
		ฉีดเข้าใต้ผิวหนัง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การสลายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

ปริมาณและการกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชขึ้นกับความคงตัวของสารประกอบพีเอเอช โดยทั่วไปสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศมี 2 ลักษณะ คือ ก๊าซและอนุภาครวมตัวกับฝุ่น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความดันไอของสารประกอบพีเอเอช เมื่อสารประกอบพีเอเอชถูกปล่อยสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายกระบวนการ ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบพีเอเอชแต่ละตัวในการจับกับอนุภาคสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาเคมี รวมถึงความคงตัวของสารนั้น (Pankow, 1991; Yamasaki และคณะ, 1982) การเปลี่ยนแปลงระหว่างก๊าซและอนุภาคของสารประกอบพีเอเอชจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการพาร์ทิชัน (partitioning ratio) ซึ่งสามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในรูปอนุภาคกับความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในรูปก๊าซ โดยทั่วไปแล้วสารประกอบพีเอเอชที่อุณหภูมิกว้างขวาง มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ค่าความดันไอต่ำ ค่าละลายน้ำได้น้อยมากและการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ต่างกัน

สารประกอบพีเอเอชสามารถสลายตัวในบรรยากาศได้หลายวิธี ได้แก่

1) การสลายตัวโดยแสง (Photodegradation)

กระบวนการสลายตัวเนื่องจากแสงเป็นกระบวนการสำคัญของการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศ เป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสง จากงานวิจัยของ Kamens และ Jang (1989) และ Kamens และ Jang (1998) สารประกอบพีเอเอชสามารถดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 300-420 nm ซึ่งเป็นการเกิด photo-oxidized ที่รวดเร็ว การสลายตัวของสารประกอบพีเอเอช จะขึ้นอยู่กับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิในช่วงเวลาของวัน การสลายตัวในบรรยากาศของสารประกอบพีเอเอชในอนุภาคของเขม่า (soot particles) แสดงถึงค่าครึ่งชีวิตของ BaA, BeP, BgH, Ind และ BbF จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าต่ำ ปริมาณแสงต่ำและปริมาณความชื้นต่ำ จากการศึกษาของ Panther และคณะ (1999) พบว่าสารประกอบพีเอเอชจะสลายตัวได้ดีในเดือนที่มีสภาพอากาศร้อน เนื่องจากมีชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่าและมีความเข้มข้นของแสงมาก ในบรรยากาศโดยทั่วไปสารประกอบพีเอเอชในอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย (fly ash) เขม่า (soot) และผงถ่าน (carbon black) มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้ว่าเป็นสารประกอบพีเอเอชสารกลุ่มเดียวกัน คือ มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ถึง 1,000 ชั่วโมง Behymer และ Hites (1988) ศึกษาปัจจัยที่ผลเป็นต่อการสลายตัวโดยแสงของสารประกอบพีเอเอชในเถ้าลอยในฤดูร้อนและหนาว จากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชจากปฏิกิริยาของแสง ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่วงก็ตาม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิว และสี

เอกสารนี้แสดงในตารางที่ 2.6 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ค่าครึ่งชีวิตของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการ

เกิดปฏิกิริยาโดยแสงในถ้ำลอยสีต่าง ๆ (Behymer และ Hites, 1988)

สารประกอบพีเอเอช	White fly ash		Grey fly ash		Black fly ash	
	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว
Fluoranthene	7.7 ชม.	23.0 ชม.	1.9 วัน	5.7 วัน	1.2 วัน	3.6 วัน
Pyrene	3.7 ชม.	11.0 ชม.	1.6 วัน	4.8 วัน	1.1 วัน	3.3 วัน
Benz(a)anthracene	15.0นาทึ่	45.0 นาทึ่	17.0 ชม.	2.1 วัน	1.1 วัน	3.3 วัน
Chrysene	10.0 ชม.	1.30 วัน	2.3 วัน	6.9 วัน	1.0 วัน	3.0 วัน
Benzo(a)pyrene	15.0 ชม.	45.0 นาทึ่	18.0 ชม.	2.3 วัน	20.0 ชม.	2.5 วัน
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6.5 ชม.	20.0 ชม.	1.1 วัน	3.3 วัน	1.0 วัน	3.0 วัน
Benzo(g,h,i)perylene	1.9 ชม.	5.7 ชม.	2.5 วัน	7.5 วัน	23.0 ชม.	2.9 วัน

Butler และ Crossly (1981) ศึกษาค่าครึ่งชีวิตของสารประกอบพีเอเอชในอนุภาคของเขม่า ภายใต้สภาวะที่มีแสง และมีความเข้มข้นของก๊าซ NO₂ 10 ppm พบว่า Benzo(a)pyrene มีค่าครึ่งชีวิต 168 ชั่วโมง Benzo(g,h,i)perylene 195 ชั่วโมง Pyrene 336 ชั่วโมง Benz(a)anthracene 264 ชั่วโมง Chrysene 624 ชั่วโมง Fluoranthene 648 ชั่วโมง และ Phenanthrene 720 ชั่วโมง

2) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเคมีแสง (Photochemical oxidation)

การเปลี่ยนรูปจากปฏิกิริยา Photochemical oxidation มีความสำคัญต่อการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชทั้งในรูปของก๊าซและในรูปของอนุภาค จากงานวิจัยของ Baek และคณะ (1991) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบพีเอเอชกับ NO_x, N₂O₅, OH, O₃, SO₂ และ peroxyacetyl nitrate ในบรรยากาศได้สารประกอบ oxy-, hydroxyl-, nitro- และ hydroxynitro-PAHs derivatives จากงานวิจัยของ Holloway และคณะ (1987) และ Kamens และคณะ (1986) พบว่าสารประกอบพีเอเอชเกิดปฏิกิริยา Photochemical oxidation เกิดเป็นสารประกอบ nitrated PAHs, quinones, phenols และ dihydrodiols

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical (·OH) และ Naphthalene สามารถแบ่งปฏิกิริยาได้เป็น 2 วิธี คือ 1) Hydroxyl radical (·OH) เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene บริเวณตำแหน่งที่ 1 จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับ NO₂ บริเวณตำแหน่ง ortho กรณีการเกิด Dehydration ดึงเอา H₂O ออกจากปฏิกิริยาเกิดเป็น 2-Nitronaphthalene และกรณีเกิดการสูญเสีย Nitrous acid เกิดเป็น 1-naphthol นอกจากนี้ การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical (·OH) และ Naphthalene บริเวณตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับดูใช้งานเพื่อการศึกษารายงานไปจนสุดหน้าไปใช้ประโยชน์เพื่อการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเกิดได้เช่นกัน เกิดเป็น 2-Naphthol, 1-Nitronaphthalene, 2-Formylcinnamaldehyde และ 2) Hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene บริเวณตำแหน่ง C-H หรือ C=C

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Hydroxyl radical และ Naphthalene ได้สารประกอบอะโรมาติกที่มีโครงสร้างแบบวงเปิด คือ 2-Formylcinnamaldehyde เกิด Molar yield ประมาณ 38% และ Epox เกิด Molar yield ประมาณ 12% การเกิดปฏิกิริยาของ Naphthalene กับ NO_3 radical เกิดเป็น Nitrooxycyclohexadienyl-type radical ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับ NO_2 ถ้าเกิดปฏิกิริยาตรงตำแหน่งที่ 1 จะเกิดเป็น 1-Nitronaphthalene และ NO_3 radical เข้าทำปฏิกิริยากับ Naphthalene ตรงตำแหน่งที่ 2 จะเกิดเป็น 2-Nitronaphthalene ซึ่ง 1-Nitronaphthalene และ 2-Nitronaphthalene เกิด Molar yield เท่ากัน 35% นอกจากนี้ NO_3 radical สามารถเกิดปฏิกิริยากับ OH radical- Naphthalene เกิดเป็น Hydroxynitronaphthalene

3) การทำปฏิกิริยาของสารประกอบฟิเอเอชกับ Reactive gases

นอกจากปฏิกิริยา Photochemical oxidation สารประกอบฟิเอเอชสามารถลดลงได้จากการ evaporative หรือ oxidative reactions กับ reactive gases ซึ่งก๊าซเหล่านี้อาจจะถูกปล่อยมาจากแหล่งเดียวกัน ตัวอย่างก๊าซเหล่านี้ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) โอโซน (O_3) และสารประกอบอื่น ๆ ของ Photochemicalsmog และมีงานวิจัยของ Lindskog (1983) ศึกษาปฏิกิริยาของสารประกอบฟิเอเอชที่เกิดจากการเผาไหม้ในอนุภาคเขม่า โดยให้สารประกอบฟิเอเอชทำปฏิกิริยากับ NO_2 และ O_3 ในสภาวะที่ไม่มีแสงจากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบฟิเอเอชลดลง ซึ่งมีปัจจัยจากความเข้มข้นของก๊าซ เวลาในการทำปฏิกิริยา และความชื้นในบรรยากาศ เมื่อมีการเพิ่มกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในอนุภาคของเขม่าพบว่าปฏิกิริยาของสารประกอบฟิเอเอชเพิ่มมากกว่ามีแต่ก๊าซ NO_2 และ O_3 เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Baek และคณะ (1991) ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟิเอเอช กับ O_3 หรือ Peroxyacetyl nitrate เกิดเป็นสารประกอบ Diones สารประกอบฟิเอเอชทำปฏิกิริยากับก๊าซ NO_2 เกิดเป็นสารประกอบ Nitro และ Dinitro-PAHs และสารประกอบฟิเอเอชทำปฏิกิริยากับ SO_2 เกิดเป็นสารประกอบ Sulfonic acid

4) การระเหยกลายเป็นไอ

สารประกอบฟิเอเอชมีแนวโน้มในการระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่บรรยากาศได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความดันไอ และอุณหภูมิในบรรยากาศ ซึ่งสารประกอบฟิเอเอชทุกชนิดระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง เช่น Benzo(g,h,i)perylene มีค่าความดันไอ 1.0×10^{-10} มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส Naphthalene มีค่าความดันไอที่ 1 มิลลิเมตรปรอทที่ 53 องศาเซลเซียส และระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น การกลายเป็นไอของสารประกอบฟิเอเอชที่อุณหภูมิห้องเกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศ

การกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศโดยทั่วไปจะแตกต่างกันตามกระบวนการที่เกิด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการควบแน่นหรือการดูดซับ ทำให้พบสารประกอบพีเอเอช ใน 2 สถานะ คือ สถานะก๊าซและสถานะที่จับกับอนุภาคแขวนลอย (particle-bound PAHs, p-PAHs) จากการศึกษาของ Chetwittayachan และคณะ (2002) พบว่าสารประกอบพีเอเอชจะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และอยู่ในรูปที่ยึดเกาะกับอนุภาคของจีเอ็มแอลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่า จากการศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) สารประกอบพีเอเอชจะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นสารประกอบพีเอเอชจะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่มระเหยง่ายชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ Venkataraman และคณะ (1999) ศึกษาความสัมพันธ์ของสารประกอบพีเอเอชที่พบในเขตเมือง โดยได้จำแนกลักษณะของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ (ในรูปที่ 2.4) คือ

- 1) สารประกอบพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กมาก คือ เล็กกว่า 10 ไมครอน
- 2) สารประกอบพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็กหรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2.0 ไมครอน ที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่มระเหยได้ง่าย
- 3) สารประกอบพีเอเอชที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่มีขนาดระหว่าง 2-10 ไมครอน



รูปที่ 2.4 ลักษณะของอนุภาคและการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนอนุภาค (Chetwittayachan และคณะ, 2002)

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศระหว่างรูปแบบของการถูกกำจัดออกทางกายภาพ เช่น การตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง จากงานวิจัยของ Baek และคณะ (1991)

เอกสารพบว่า การกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชมากที่สุด ในอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.4 ไมครอน และค่าไม่ต่ำกว่า 0.1 ไมครอน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ไมครอน นอกจากนี้พบว่าอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 3.0-5.0 ไมครอน สามารถถูกกำจัดจากบรรยากาศ ด้วยการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง โดยส่วนใหญ่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน มักเกาะกลุ่มกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้อนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มขนาดของอนุภาคฝุ่นปกติใช้เวลาเป็นวันถึงสัปดาห์ หลังจากนั้นจะเกิดการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้งในบรรยากาศ ส่วนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.1-0.3 ไมครอน มีระยะเวลาคงตัวในบรรยากาศได้หลายวันหรือนานกว่านั้น ทำให้สามารถแพร่กระจายตัวได้ในระยะทางไกลขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปการตกสะสมแบบแห้งจะคงตัวในบรรยากาศได้นานกว่าการตกสะสมแบบเปียก

2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1) อุณหภูมิและฤดูกาล

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชคือ อุณหภูมิ พบว่าสารประกอบพีเอเอชมีปริมาณสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้สารประกอบพีเอเอชเปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซได้ดี

Smith และ Harrison (1996) ศึกษาสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศ 18 ชนิด โดยเก็บฝุ่น TSP และตัวอย่างก๊าซ ใน Birmingham ประเทศอังกฤษ โดยเก็บใน Birmingham University ซึ่งเป็นเขตเมืองและ Washhills House ซึ่งเป็นเขตชนบท โดยเก็บในฤดูหนาวและร้อน พบว่า p-PAHs ในเขตเมืองมีความเข้มข้นมากกว่าในชนบทประมาณ 3.8 เท่า และ Total PAHs (สารประกอบพีเอเอชที่ปรากฏอยู่ในรูปฝุ่นและในรูปของก๊าซ) มีค่ามากกว่า 4.3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในฤดูร้อนและฤดูหนาวพบว่า p-PAHs ในเขตเมืองในฤดูหนาวมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าฤดูร้อน 4.9 เท่า และสารประกอบพีเอเอชที่อยู่ในรูปของก๊าซมีค่าสูงกว่าสารประกอบพีเอเอชในรูปของฝุ่น 5.5 เท่า

Kiss และคณะ (1998) ศึกษาการกระจายของสารประกอบพีเอเอชในอนุภาคแอโรซอลขนาดต่าง ๆ ในบรรยากาศ เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย 9 stage cascade impactor พบว่าสารประกอบพีเอเอชมีการกระจายตัวแปรผันตามขนาดของน้ำหนักโมเลกุล จำนวนวงอะโรมาติกและอุณหภูมิ เช่น ในช่วงฤดูหนาว เดือนมกราคม ค.ศ.1996 ที่อุณหภูมิ -3 ถึง -5 องศาเซลเซียส มีการกระจายของสารประกอบพีเอเอชพบ Naphthalene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene

ประมาณ 50% และพบ Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งขึ้นเพื่อการค้าเท่านั้น ผู้อ่านและผู้เผยแพร่ขอสงวนสิทธิ์ในการใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Benzo(k)fluoranthene ประมาณ 60% พบ Benzo(a)pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Dibenz(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene ประมาณ 70% ในช่วงฤดูฝนเดือนตุลาคม ค.ศ.1995 อุณหภูมิ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส มีการกระจายของสารประกอบพีเอเอชแบบ unimodal distribution พบว่า Benzo(a)anthracene ที่มีวงเบนซิน 4 วง ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า Naphthalene ที่มีวงเบนซิน 2 วง และ Phenanthrene ที่มีวงเบนซิน 3 วง อย่างไรก็ตาม สารประกอบพีเอเอชที่มีโครงสร้างเบนซิน 2-3 วง พบในทุกขนาดคัตแยก ในฤดูหนาวสารประกอบพีเอเอชที่มีโครงสร้างวงเบนซิน 3-6 วง พบในอนุภาคแอโรซอล ขนาด 0.25-2.0 ไมครอน และในช่วงฤดูใบไม้ผลิสารประกอบพีเอเอช ที่มีโครงสร้างวงเบนซิน 4-6 วง พบในฝุ่นละอองขนาด 0.125-2.0 ไมครอน นอกจากนี้ ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และฤดูหนาวมีความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอช 3.1 และ 133.0 ng/m³ ตามลำดับ

Bae และคณะ (2002) ศึกษาการกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชในฝุ่นขนาด 0.1-100 ไมครอน เมื่อมีการตกสะสมแบบแห้ง ที่เกาหลีใต้ ในฤดูหนาว เดือนกุมภาพันธ์ และฤดูใบไม้ผลิ เดือนพฤษภาคม ค.ศ.2000 ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของ Total p-PAHs อยู่ในช่วงระหว่าง 10 และ 24 µg/m²day และในฤดูใบไม้ผลิมี Total p-PAHs ที่มีการตกสะสมแบบแห้ง อยู่ในช่วงระหว่าง 4.1 และ 8.2 µg/m²day

2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงกับมวลของไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ทำให้ ปริมาตรไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในบรรยากาศเมื่อแสงมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นในบรรยากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้น้ำที่อนุภาคสารประกอบพีเอเอชเกาะอยู่มากขึ้นเพราะมีปริมาณน้ำในบรรยากาศมาก ความชื้นสัมพัทธ์จึงเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา photodegradation คือ เมื่อแสงมีความเข้มมากทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูง อัตราการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชขึ้นกับน้ำในฝุ่นละออง

Kamens และ Jang (1998) ศึกษาผลกระทบจากค่าความชื้นในอากาศมีผลต่อ gas/particle partitioning ของสาร Semi-volatile organic compounds (SOCs) ที่แตกต่างกันของผิวสารอินทรีย์ (organic layer) ของ wood soot, diesel soot และ secondary aerosols ทำการศึกษาใน Outdoor

environment chamber โดยศึกษาหาค่า partitioning coefficient (Kp) ของสาร SOCs ที่แตกต่างกัน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวัดใน Outdoor teflon film chamber และนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่า K_p ที่คำนวณได้จาก ทฤษฎีกับค่า activity coefficient และความดันไอ โดยใช้การประเมินค่า SOC activity coefficient จากปริมาณของน้ำในชั้นของสารอินทรีย์ที่รวมตัวกับอนุภาคของฝุ่นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ สมดุลในชั้นของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันในอนุภาคฝุ่นที่อยู่ในบรรยากาศ ได้จากคำนวณค่า activity coefficient ของน้ำในสารอินทรีย์ที่เกาะอยู่กับอนุภาคฝุ่น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ใน บรรยากาศ พบว่าค่า SOC activity coefficient ของอนุภาคฝุ่นในเขม่าในเสี้ยเครื่องยนต์ดีเซลไม่ ขึ้นอยู่กับค่า reative humidity (RH) แต่สำหรับอนุภาคเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ (wood soot particle) ในส่วนของสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ หรือไม่ละลายน้ำมีแนวโน้มในการดูดซับกับ สารอินทรีย์ใน wood soot particles ได้ดี เช่น alkanes และสารประกอบฟีนอล พบว่าค่า SOC activity coefficient จะเพิ่มขึ้นเมื่อ relative humidity มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับพวก wood soot particles SOCs ที่มีความเป็นขี้ว เช่น n-alkanoic acids และหมู่แทนที่ของ phenol ใน wood soot particles พบว่า SOC activity coefficient มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อค่า RH เพิ่มขึ้น ยกเว้นพวก wood smoke particle เป็นสารประกอบที่มีขี้วพบว่าค่า SOC activity coefficient มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อ เปรียบเทียบกับ SOCs ที่ไม่มีขี้ว สรุปได้ว่า ความชื้นในอากาศมีผลต่อการแบ่งแยกชั้นระหว่าง สารประกอบฟีนอลในรูปของก๊าซและในรูปของฝุ่น ในส่วนสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำของ แอโรซอลที่มีขี้ว

3) ความเร็วและทิศทางลม

ความเร็วของลมมีผลต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล โดยเมื่อความเร็วลมสูงจะทำให้ สารประกอบฟีนอลเกิดการกระจายตัวได้ดี ความเข้มข้นจะลดต่ำลง แต่ถ้าความเร็วลมต่ำ จะทำให้ ความเข้มข้นของมลพิษสูงขึ้น Chaloulakou และคณะ (2003) ตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ในเมือง Athens ประเทศกรีซ พบว่าฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมและอุณหภูมิ โดย PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ มีความสัมพันธ์ แบบผกผันกับความเร็วลมมีค่า R (correlation coefficient) เท่ากับ -0.43, -0.54 และ -0.19 ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่า ฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงกว่า $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ความเร็วลมมี ค่าต่ำกว่า 2.0 m/s

4) แสง

สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดปฏิกิริยา photodegradation ด้วยแสง ซึ่งเกิดจาก 2

กระบวนการ คือ กระบวนการ photolysis โดยตรง จากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 nm และ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ photolysis ทางอ้อมโดย oxidizing agent เช่น $\cdot\text{OH}$, O_3 และ NO_3 ในอากาศ โดยทั่วไปแล้ว photolysis ทางอ้อม หรือ photooxidation เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่ากระบวนการ photolysis โดยตรง และสารประกอบพีเอเอชแต่ละชนิดที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ NO_x พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 วัน และพบว่าการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชจะช้าเมื่อความเข้มข้นของแสงน้อย (IPCS, 1998) จากงานวิจัยของ Kamens และคณะ (1985) ทำการศึกษาหาค่าอัตราการสลายตัวของสารประกอบพีเอเอชที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 228 กรัมต่อโมล ของอนุภาคควันจากการเผาไหม้ของไม้กับก๊าซโอโซน (O_3) หรือกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในสถานะที่มีแสงแดดและในสถานะที่ไม่มีแสงแดด ผลการวิจัยแสดงถึงความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในบรรยากาศในอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของไม้ในสถานะที่ไม่มีแสงแดด จะมีค่าคงที่แต่จะสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในสถานะที่มีแสงแดด

2.1.7 การใช้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในทางอุตสาหกรรม

สารประกอบพีเอเอชหลาย ๆ ชนิดมีความสำคัญทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตสารเคมีชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การใช้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

สารประกอบพีเอเอช	ประเภทอุตสาหกรรม
Naphthalene	ใช้ผลิตสารเคมีต่างๆคือ phthalic anhydride, สี, สารกำจัดแมลงคาร์บาริล (Carbaryl), ตัวทำละลาย (alkylnaphthalene) ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษสำเนาชนิดไม่ต้องใช้กระดาษคาร์บอน (carbonlesscopy paper) และใช้เป็นสารไล่แมลงในตู้
Phenanthrene	ใช้ผลิตสารเคมีต่าง ๆ คือ phenanthrene quinone, diphenic acid
Pyrene	ใช้ผลิตสีชนิด perignon pigment
Acenaphthene	ใช้ในการผลิตสารเคมีต่าง ๆ คือ naphthalicanhydride ใช้ผลิตสี acenaphthylene ใช้ผลิตเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) การใช้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในอุตสาหกรรม
ต่าง ๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

สารประกอบพีเอเอช	ประเภทอุตสาหกรรม
Anthracene	ใช้เป็นสารตรวจวัดสารกัมมันตรังสี (scintillant) และใช้ผลิตanthraquinone ซึ่งใช้ผลิตสี (dyestuffs) ชนิดต่าง ๆ เช่น alizarin เตรียมจากปฏิกิริยา sulphonation ของ anthraquinone ได้เป็น anthraquinone-2- sulphonic acid เมื่อทำปฏิกิริยากับด่าง NaOH และ sodium chlorate ได้ alizarin sodium salt ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับ H ₂ SO ₄ จึงได้สี alizarin
Fluoranthene	ใช้ผลิตสีชนิดเรืองแสง

2.1.8 การปนเปื้อนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

สารประกอบพีเอเอชเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางทั้งจากธรรมชาติเช่น การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันดิบใต้ดินทำให้สารประกอบพีเอเอชปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด และจากการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญคือ การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งนับเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อยสารประกอบพีเอเอชสู่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน (การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์เป็นการเผาไหม้ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด ทำให้สารประกอบอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนไม่ถูกออกซิไดซ์จนหมด) การเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดสารประกอบพีเอเอชได้แตกต่างกัน ที่สำคัญขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเผาไหม้

รถยนต์นับเป็นแหล่งกำเนิดสารประกอบพีเอเอชที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้นทุกปี ปริมาณสารประกอบพีเอเอชที่ถูกปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์มากเท่าใดก็จะปล่อยสารประกอบพีเอเอชออกมาน้อย ในทางตรงกันข้ามเครื่องยนต์เก่าไม่สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์จะปล่อยสารประกอบพีเอเอชออกมามากกว่า Alsberg และคณะ (1985) รายงานชนิดและปริมาณสารประกอบพีเอเอชที่ถูกปล่อยจากรถยนต์ 4 สูบ มีอายุการใช้งานประมาณ 1 ปี ใช้ น้ำมันผสมสารตะกั่วปริมาณ 0.15 กรัม/ลิตร ออกเทน 96 ดังแสดงในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ปริมาณของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในไอเสียรถยนต์

(Alsberg และคณะ, 1985)

สารประกอบพีเอเอช	ปริมาณ (ไมโครกรัม/ระยะทางการวิ่ง 1 กิโลเมตร)
Anthracene	0.70
Anthanthrene	0.75
Benzo[a]anthracene	5.80
Benzo[a]pyrene	3.20
Benzo[b] และ Benzo[k]fluoranthene	5.45
Benzo[e]pyrene	4.40
Benzo[ghi]fluoranthene	8.80
Benzo[j]perylene	9.45
Benzo[j]fluoranthene	1.00
Chrysene	7.70
Coronene	9.25
Cyclopentano[cd]pyrene	7.45
Fluoranthene	170
Indeno[1,2,3-cd]fluoranthene	0.60
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	2.65
Perylene	0.40
Phenanthrene	2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นอนุภาคที่มีทั้งเป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งแพร่กระจายอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 0.0002 ไมครอน (ขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของสสาร) จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดใหญ่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ 2-3 นาที จะตกลงสู่พื้นด้วยแรงดึงดูดของโลก และแรงลม ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกสู่พื้นต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ และกระแสลม จะทำให้สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.2.1 กลไกการเกิดฝุ่นละออง

กระบวนการเกิดฝุ่นละอองมี 2 ชนิด คือ 1) ละอองไอปฐมภูมิในบรรยากาศ (Primary aerosols) เป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวในบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละอองจากทะเลทราย หรือผิวดิน ที่แห้ง คาร์บอนไฟ และเขม่าดำ 2) ละอองไอทุติยภูมิในบรรยากาศ (Secondary aerosols) ขณะที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศในรูปก๊าซ และไอของสารระเหย จากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอนุภาคของแข็ง หรือของเหลว เมื่อมีความเข้มข้นเกินค่าสมมูลของความดันไอระเหย (equilibrium vapor pressure)

2.2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละออง สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดเป็น 2 ประเภท (Godish, 2004)

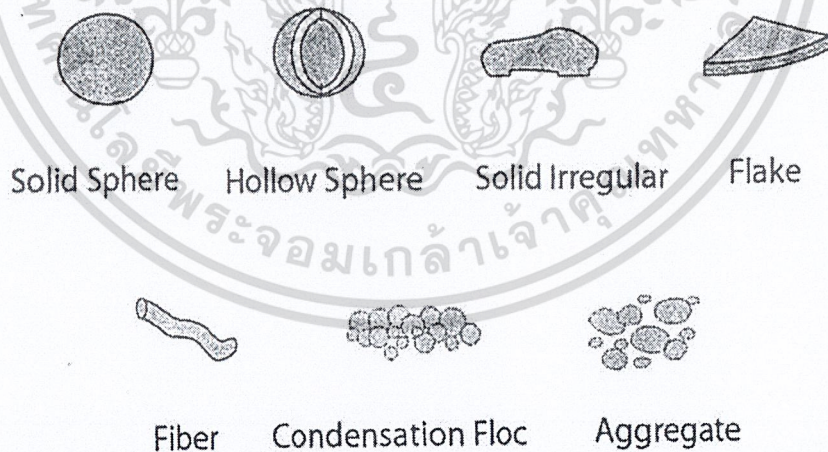
1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural sources) ได้แก่ ดิน หิน ทราย ละอองไอน้ำ เขม่าควันจากป่า และละอองเกลือจากน้ำทะเล ซึ่งมีกลไกในการเกิดแตกต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาด และองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ฝุ่นหยาบเป็นอนุภาคที่มีองค์ประกอบของเปลือกโลก ประกอบด้วยออกไซด์ของเหล็ก แคลเซียม ซิลิกอน และอลูมิเนียมและธาตุอื่น ๆ อนุภาคที่พบบริเวณชายฝั่งทะเล ประกอบด้วย โซเดียมคลอไรด์จากละอองเกลือ ฝุ่นละอองประกอบด้วย ซัลเฟต ไนเตรต แอมโมเนีย สารประกอบอนินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอน และโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ โดยทั่วไปฝุ่นละอองมีแนวโน้มว่ามีสภาพเป็นกรด เนื่องจากมีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source) โดยทั่วไปเป็นฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่นจากการคมนาคม เช่น รถบรรทุกหิน ดิน ทราช ซีเมนต์ และเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น การก่อสร้าง เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างอาคารสูง การรื้อถอน ทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น และอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ การโม่บดหรือย่อยหิน และอื่น ๆ ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการผลิต มีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ขนาดของฝุ่น ปริมาณหรือความเข้มข้น รูปร่าง ความหนาแน่น และคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น การนำไฟฟ้า (conductivity) การกัดกร่อน (corrosive) การดูดความชื้น (hygroscopic) ความไวต่อปฏิกิริยา (reactivity) และความเป็นพิษ (toxicity) เช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน กัมมันตรังสี รวมทั้ง ฟุ้ง (fume) หมอกน้ำค้าง (mist) และควัน (smoke) ที่เกิดพร้อมกับกระบวนการสันดาปหรือให้ความร้อน

2.2.3 ขนาดของฝุ่นละออง (Particle size)

ขนาดของอนุภาค หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น กรณีที่เป็นอนุภาคทรงกลม แต่โดยทั่วไปอนุภาคฝุ่นมีรูปร่างหลายอย่าง นอกจากทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้น อนุภาคที่ไม่ใช่ทรงกลมมักบอกขนาดที่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter) โดยเทียบกับ Project area พื้นที่ผิว ปริมาตร และมวล



รูปที่ 2.5 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นต่าง ๆ

(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามขนาดออกเป็น 4 ประเภท (U.S. EPA, 1999) คือ

1) ฝุ่นละอองรวม (Supercoarse particles) เป็นอนุภาคฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน

2) ฝุ่นหยาบ (Coarse particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ การจราจร การขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมการบด ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ เป็นต้น

3) ฝุ่นละเอียด (Fine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1-2.5 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่ง การเกิดไฟป่า การหุงต้มอาหาร โดยใช้ฟืน นอกจากนี้ยังเกิดจากก๊าซ SO_2 , NO_x และ VOCs จะทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นในอากาศ เกิดการรวมตัวกับก๊าซ ในสถานะที่มีความดันไอลดต่ำ

4) ฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอนมีแหล่งกำเนิดจากการรวมตัวของไอน้ำในช่วงระหว่ที่เกิดการเผาไหม้ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง ๆ

2.2.4 องค์ประกอบของฝุ่นละออง

องค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ได้แก่ ซัลเฟตไอออน ไนเตรตไอออน แอมโมเนียมคาร์บอเนตคาร์บอนอินทรีย์โลหะละอองน้ำที่จับตัวกับฝุ่นแหล่งที่มาที่สำคัญคือการเผาไหม้ถ่านหินน้ำมันเศษไม้การเปลี่ยนสภาพของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารประกอบอินทรีย์ในบรรยากาศกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงเตาหลอมโรงบดเหล็กเป็นต้นซึ่งมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันตามพื้นที่ เช่น กรุงเทพมหานครพื้นที่ริมถนนฝุ่นละอองส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ซึ่งอนุภาคในบรรยากาศเป็นหนึ่งในมลพิษหลักของชุมชนเมือง ถูกพิจารณาว่าเป็นอันตรายต่อร่างกายเนื่องมาจากการสะสมอยู่ในปอดจากการหายใจ (Holler และคณะ, 2002; Watson, 2002; Bond และคณะ, 2004) ทั้งนี้อนุภาคคาร์บอนยังมีบทบาทสำคัญในบรรยากาศเกี่ยวกับการส่องผ่านของรังสีในบรรยากาศและเคมีของบรรยากาศโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และธาตุคาร์บอน (Elemental carbon)

อินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนหนึ่งในสารประกอบพีเอชและสารประกอบอื่น ๆ ที่อาจเป็นไปได้ว่าน่าจะเป็นสารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และส่งผลให้เกิดมะเร็ง อินทรีย์คาร์บอนสามารถปล่อย

ออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง หรือจากการเกิดปฏิกิริยาร่วมกันของก๊าซในบรรยากาศ (Holler และคณะ, 2002; Watson, 2002; Bond และคณะ, 2004)

ธาตุคาร์บอนมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อยกับเขม่าและคาร์บอนแบล็กและอาจจะเป็นส่วนผสมของอนุภาคที่คล้ายกับแกรไฟต์และสารอินทรีย์ดูดซับ ธาตุคาร์บอนอาจเป็นส่วนหนึ่งในปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับบรรยากาศ เช่น SO₂, NO_x, O₃ และก๊าซอื่น ๆ ดังนั้นจึงมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Cao และคณะ, 2009)

2.2.5 การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

การกระจายตัว (Size distribution) ของอนุภาคฝุ่นละออง จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของฝุ่น โดยทั่วไปนิยมแสดงค่าในรูปแอโรไดนามิกไดเอมิเตอร์ (Aerodynamic diameter, D_p) ซึ่งเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีความหนาแน่นในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความเร็วตกกลับในบรรยากาศเท่ากับของอนุภาค ซึ่งการกระจายของอนุภาคฝุ่นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 (Wark และคณะ, 1998)

$$SD = n_N = \frac{dN}{dD_p} = \frac{dC_i}{d \log D_p} \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ

- SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง (µg/m³)
- n_N = ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง (µg/m³)
- D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละออง (µm)
- dD_p = ส่วนต่างของขนาดในแต่ละชั้น
- dlogD_p = log ขนาดชั้นบน - log ขนาดชั้นล่าง
- dC_i = ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอชซีในแต่ละชั้น (µg/m³)

การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ในบรรยากาศในบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ เช่น เขตเมือง หรือพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ระดับนาโนเมตรจนถึงระดับ 100 ไมโครเมตร โดยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ เช่น รถยนต์ โรงไฟฟ้าถ่านหิน การเผาวัสดุจำพวกไม้ เป็นต้น ขนาดที่แตกต่างกันของอนุภาคฝุ่นละออง สามารถบอกถึงแหล่งที่มา หรือพฤติกรรม

เอกสารนี้เป็นของบุคคลที่มอบหมายให้จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับความยินยอมจากผู้จัดทำ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำ

ต่าง ๆ เช่น การแขวนลอยในอากาศ การเกิดปฏิกิริยาโดยแสง เคมี และสภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณการแพร่กระจายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ และแสดงผลในรูปแบบของลักษณะการกระจายตัวของฝุ่นละอองเพื่ออธิบายพฤติกรรมของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ

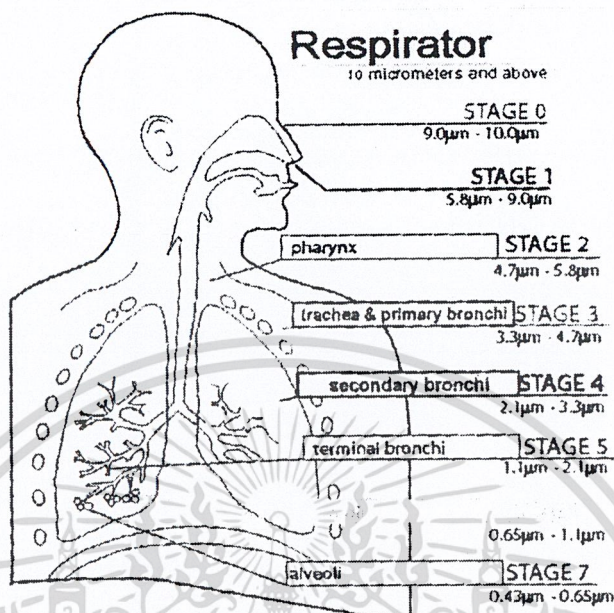
2.2.6 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Rao และ Rao, 1994)

1) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยฝุ่นละอองจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา การหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน จะถูกจับที่ระบบทางเดินหายใจส่วนบน ในส่วนของจมูกและลำคอ ทำให้ระคายเคือง แสบจมูก ไอจาม มีเสมหะ ซึ่งฝุ่นละอองชนิดนี้จะถูกขับออกมาพร้อมกับเสมหะ ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เพราะสามารถแทรกตัวลึกเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างเข้าไปในเนื้อเยื่อปอด หรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง ทำให้หลอดลมอักเสบ (bronchitis) เกิดหอบหืด (asthma) ถุงลมโป่งพอง (emphysema) และปอดบวม (pneumonia) โดยแบ่งขนาดของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจออกเป็น 8 ระดับ คือฝุ่นละอองที่มีขนาด 10.0-9.0 ไมครอน (stage 0) ฝุ่นละอองขนาด 9.0-5.8 ไมครอน (stage 1) เข้าสู่ทางจมูก และตกสะสมบริเวณโพรงจมูก จากนั้นฝุ่นละอองขนาด 5.8-4.7 ไมครอน (stage 2) เข้าสู่บริเวณคอหอย (pharynx) ซึ่งเป็นทางเชื่อมระหว่างปาก โพรงจมูกและหลอดอาหาร ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 4.7-3.3 ไมครอน (stage 3) เข้าสู่บริเวณหลอดลม (trachea) และท่อหลอดลมคอระดับที่หนึ่ง (primary bronchi) ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 3.3-2.1 ไมครอน (stage 4) เข้าสู่บริเวณท่อหลอดลมระดับสอง (secondary bronchi) ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 2.2-1.1 ไมครอน (stage 5) เข้าสู่บริเวณระดับปลายแขนงของหลอดลม (terminal bronchi) ฝุ่นละอองขนาดระหว่าง 1.1-0.65 ไมครอน (stage 6) และ 0.65-0.43 ไมครอน (stage 7) เข้าสู่บริเวณถุงลมปอด (alveoli) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

2) ผลกระทบต่อทัศนวิสัย ฝุ่นละอองลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น ๆ

3) ผลกระทบต่อวัตถุ และสิ่งก่อสร้าง ฝุ่นละอองในบรรยากาศ มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ต่างกัน สามารถส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ เป็นต้น

- 4) ผลกระทบต่อพืช ฝุ่นละอองลดความเข้มของแสง ทำให้ลดการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis)



รูปที่ 2.6 ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ต่อระบบทางเดินหายใจ (กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม คอ.4, 2553)

2.2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

United State Enviromental Protection Agency (U.S. EPA) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total suspended particulate) และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยฝุ่นขนาดเล็กนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น U.S. EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็ก 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2006 WHO ได้จัดทำ Air Quality Guidelines (AQGs) โดยเก็บข้อมูลมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 และทำการทบทวนในปี ค.ศ. 2005 ที่เมืองบอนน์ (Bonn) ประเทศเยอรมนี เพื่อทำการทบทวน WHO AQGs โดยใช้หลักฐานทางวิชาการล่าสุด และได้ทำการเผยแพร่ WHO Air Quality Guideline ค.ศ. 2006 สำหรับประเทศไทยกรมควบคุมมลพิษได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นรวม (TSP) และฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) ส่วนค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ยังอยู่ในระหว่างรอประกาศจากคณะกรรมการเอกสารนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดมาตรฐานค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในบรรยากาศโดยทั่วไป เท่ากับ 60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละออง	ประเทศไทย		WHO	
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TSP	330 ^a	100 ^a	-	-
PM ₁₀	120 ^a	50 ^a	50 ^b	20 ^b
PM _{2.5}	60 ^c	25 ^c	25 ^b	10 ^b

หมายเหตุ: ^a ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2547)

^b WHO Air Quality Guideline Global Update 2005 (2006)

^c (ร่าง) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (พ.ศ. 2552)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dong และ Lee (2009) ศึกษาความเข้มข้น การกระจายตัวของโมเลกุล ความเป็นพิษ และแหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชในฝุ่นของถนนที่ได้จากพื้นที่ต่างกันในเมืองอัลซัน ซึ่งเป็นเขตพื้นที่อุตสาหกรรมของประเทศเกาหลี ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในเขตเมืองอุตสาหกรรมที่วัดได้พบว่า ขึ้นอยู่กับปริมาณการปล่อยสารเคมีของอุตสาหกรรมต่าง ๆ และจากยานพาหนะ ขณะที่พื้นที่บริเวณในเมือง ความเข้มข้นของสารจะขึ้นกับความหนาแน่นของการจราจร ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชจะเพิ่มขึ้นในอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็ก เป็นผลเนื่องมาจากการมีพื้นที่ผิวที่มากทำให้สารประกอบพีเอเอชเข้าไปจับกับอนุภาคได้มากขึ้น การกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอชระหว่างพื้นที่ที่มีการใช้สารปิโตรเคมีและพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นมีลักษณะคล้ายกันกัน เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดที่เหมือนกัน ความเข้มข้นของสารพิษเทียบเท่า (TEQs) ของสารประกอบพีเอเอชของฝุ่นถนนบริเวณเขตอุตสาหกรรมมีอยู่ในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารพลังงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานพลังงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และไม่รับผิดชอบต่อผู้ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

0.93 $\mu\text{g/g}$ ถึง 16.74 $\mu\text{g/g}$ และบริเวณในเมืองมีอยู่ในช่วง 4.37 $\mu\text{g/g}$ ถึง 68.84 $\mu\text{g/g}$ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชและความเข้มข้นของสารพิษเทียบเท่า (TEQs) ของพื้นที่ในเมืองมีค่า 0.98 ซึ่งมีค่ามากกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรม ที่มีค่า 0.75 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าสารประกอบพีเอเอชในฝุ่นถนนจากเมืองอัลซันมีแหล่งกำเนิดมาจากการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลและแก๊ซโซลีน การเผาไหม้น้ำมัน และการเผาไหม้ถ่านหิน

Hassanien และ Abdel-Latif (2008) ศึกษาสารประกอบพีเอเอชในเมืองไคโร ประเทศอียิปต์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการประมาณค่าและรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของสารประกอบพีเอเอชในฝุ่นถนน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นถนนในปี ค.ศ. 2005 จาก 17 พื้นที่ในเมืองไคโร วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชโดยใช้เทคนิค HPLC จากผลการศึกษาพบสารประกอบพีเอเอช 12 ชนิด แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดในพื้นที่อยู่ระหว่าง 0.045-2.6 mg/kg ความเข้มข้นสูงสุดคือ pyrene และ phenanthrene มีค่าเท่ากับ 1.031 และ 1.028 mg/kg ตามลำดับ ขณะเดียวกัน benzo(a)pyrene มีค่าเท่ากับ 0.0001 mg/kg พบสารประกอบพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็ง (naphthalene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene และ benzo(a)pyrene) อยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 46.6% ของสารประกอบพีเอเอชทั้งหมด สรุปผลจากงานวิจัยพบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเข้าไปใกล้กับเส้นทางการจราจรและโรงงานอุตสาหกรรม

Boonyatumanond และคณะ (2007) ทำการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณริมถนน ที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ ยาง ยางมะตอย และการใช้น้ำมันเครื่องในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ซึ่งเป็นเมืองเขตร้อนชื้นขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย และทำการวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอชและไฮเพนใช้บ่งชี้แหล่งกำเนิดของสารประกอบพีเอเอชในฝุ่นจากท้องถนน จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซิน ($2,600 \pm 2,900 \mu\text{g/g}$; $n = 4$) > การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ($115 \pm 245 \mu\text{g/g}$; $n = 7$) \approx ฝุ่นละอองบนท้องถนน ($101 \pm 35 \mu\text{g/g}$; $n = 5$) \approx การใช้น้ำมันเครื่อง ($97 \pm 65 \mu\text{g/g}$; $n = 4$) \approx ฝุ่นที่เกิดจากการขับเคลื่อนของรถยนต์ ($82 \pm 41 \mu\text{g/g}$; $n = 5$) > ยางมะตอย ($2.3 \pm 1.6 \mu\text{g/g}$; $n = 3$) > ฝุ่นจากท้องถนน ($1.1 \pm 0.8 \mu\text{g/g}$; $n = 10$) จากการวิเคราะห์ในแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่ได้จากบริเวณท้องถนนบ่งชี้ว่าเป็นแหล่งที่มีสารประกอบพีเอเอชมากที่สุด การวิเคราะห์ความถดถอยของลักษณะของสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอเอชและองค์ประกอบของไฮเพนบ่งชี้ว่าฝุ่นจากการขับเคลื่อนยานพาหนะจะมีการปนเปื้อนของสารประกอบพีเอเอชจากการเผาไหม้จากเคลื่อนยนต์ดีเซล

Liu และคณะ (2007) ศึกษาฝุ่นถนนในเมืองฉางไห่ในฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (สิงหาคม) โดยวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอช 16 ชนิดตาม U.S. EPA กำหนด ด้วยเครื่อง GC/MS พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในฤดูหนาวอยู่ในช่วง 9,176 – 32,573 นาโนกรัมต่อกรัม โดยได้ทำการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า บริเวณสวนสาธารณะในเมืองมีความเข้มข้นของ total PAHs ต่ำ ขณะที่ในพื้นที่อุตสาหกรรม บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น และในย่านธุรกิจจะมีปริมาณมลพิษมาก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าขนาดของฝุ่นละอองเป็นเพียงปัจจัยรองที่ส่งผลกระทบต่อการสะสมของสารประกอบพีเอเอช ในทางตรงข้าม พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (ทีโอซี) มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ total PAHs ส่วนปัจจัยลมจะส่งผลกระทบโดยตรงของการกระจายตัวของสารประกอบพีเอเอช ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารต่างๆในอนุภาคฝุ่น พบว่าในฝุ่นถนนของเมืองฉางไห่มีสารประกอบพีเอเอช ซึ่งเกิดจากการจราจรและการเผาไหม้ถ่านหิน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วพบว่า ในฤดูหนาวมีความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชที่เกิดจากการจราจรและการเผาไหม้ เป็น 71.0% และ 11.4% ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูร้อนมี 64.9% และ 14.1% ตามลำดับ

Fang และคณะ (2004) ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชในอากาศ ในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม (สวนอุตสาหกรรม Taichung, TIP) และเขตชานเมือง (มหาวิทยาลัย Tunghai, THU) ในตอนกลางของประเทศได้หวนทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดพร้อมกันทั้งสองแห่ง ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2002 และเดือนมีนาคม ค.ศ. 2003 สารประกอบพีเอเอชในรูปอนุภาคฝุ่นละออง เก็บตัวอย่างโดยใช้กระดาษกรองควอตซ์และสารประกอบพีเอเอชในรูปแก๊สใช้เครื่องเก็บตัวอย่างโพสิทีวีเทนโพน ตัวอย่างทั้งสองชนิดนำมาสกัดด้วยสารผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนกับเฮกเซน 50/50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย GC/MS นอกจากนี้ ยังเก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณพื้นที่การจราจร 5 เส้นทางหลักในเมือง Taichung การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพีเอเอชกับพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิมีผลกระทบมากกว่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความเร็วลม ความชื้น ความดันบรรยากาศ ทั้งในสารประกอบพีเอเอชในรูปแก๊ส รูปอนุภาคฝุ่นละออง แหล่งกำเนิดสารประกอบพีเอเอช จากการวิจัยพบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญสารประกอบพีเอเอชมาจากการเผาไหม้ของท่อไอเสียยานพาหนะ (เครื่องยนต์ดีเซลและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เบเนชัน) และแหล่งเตาเผาขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Viidanoja และคณะ (2002) ศึกษาความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน และคาร์บอนแบล็ค ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งเกิดจากการจราจรบริเวณเมืองเฮลซิงกิ ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้เวอร์ทูลอนอิมเพ็คเตอร์ จากนั้นวิเคราะห์โดยใช้เทอร์มอล-ออฟติคัล เพื่อแยกแยะหว่างอินทรีย์คาร์บอน และคาร์บอนแบล็ค จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของอินทรีย์คาร์บอน และคาร์บอนแบล็คในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีค่าเท่ากับ 3.0 และ 1.2 $\mu\text{g cm}^{-3}$ และ ความเข้มข้นเฉลี่ยของอินทรีย์คาร์บอน และคาร์บอนแบล็คในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีค่าเท่ากับ 4.2 และ 1.3 $\mu\text{g cm}^{-3}$ ค่าเฉลี่ยของอนุภาคสารอินทรีย์ (POM = 1.6×OC) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีค่า 50±14% ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 36±8% ขณะที่ค่าคาร์บอนแบล็คมีค่าอยู่ที่ 14±8% ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และ 7±4 ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

Khalili และคณะ (1995) ศึกษาสารประกอบพีเอเอชในเขตพื้นที่เมืองชิคาโก ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Modified high-volume sampling method (PS-1 sampler) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID และ GC-MS มีแหล่งเก็บตัวอย่างดังนี้ บริเวณที่มีเตาเผาถ่าน ไม้คอก ขยายยนต์บนถนน ความเร็วสูง เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์เบนซิน รวมทั้งการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไม้ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณวงเบนซินสองวงและสามวงคิดเป็นปริมาณความเข้มข้น 98%, 76%, 92%, 73% และ 80% ของพีเอเอชทั้งหมด 20 ชนิด ในบริเวณที่มีเตาเผาถ่าน ไม้คอก ขยายยนต์บนถนนความเร็วสูง เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์เบนซิน และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไม้ ตามลำดับ และในบริเวณที่มีเตาเผาถ่าน ไม้คอก พบปริมาณ Naphthalene มากที่สุด รองลงมาเป็น Acenaphthylene และ Phenanthrene เป็นต้น สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล พบปริมาณ Naphthalene มากที่สุด รองลงมาเป็น Acenaphthene และ Fluorene สำหรับเครื่องยนต์เบนซิน พบปริมาณ Naphthalene มากที่สุด รองลงมาเป็น Pyrene และ Benzo(e)pyrene และสำหรับการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไม้ พบปริมาณ Acenaphthylene มากที่สุด รองลงมาเป็น Naphthalene และ Anthracene พบว่า ชนิดขององค์ประกอบและปริมาณของสารจะต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Andersen PM10) รุ่น 0 – HV2000 – 001 บริษัท Lumur International, Inc. ประเทศเปอร์โตริโก
2. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GC 6890N, MS 5973N บริษัท Agilent Technologies Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. Shimadzu TOC-V CSH Total Carbon Analyzer รุ่น TOC – V CSH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่องวัดอุณหภูมิตัวแบบ ISS Transmitter รุ่น 6152 C บริษัท Davis Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องชั่งกระดาษกรอง 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204 Mettler Toledo บริษัท Metrology Technical Co., Ltd. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. เครื่องหมุนระเหยความดันต่ำ รุ่น NVC-1100 บริษัท Tokyo Rikakikai Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
7. เครื่อง Ultrasonicator รุ่น FT01/18 บริษัท Fisher Scientific Worldwide ประเทศเยอรมนี
8. ตู้ดูดความชื้น รุ่น CM-3 บริษัท Samplatec Co., Ltd. ประเทศเยอรมนี
9. กระดาษกรองควอตซ์ ขนาด 17.5 ซม. × 22.5 ซม. บริษัท Toyo Roshi Kaisha Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
10. กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน บริษัท Whatman ประเทศเยอรมนี
11. C18 cartridge ขนาด 3 มิลลิลิตร 500 มิลลิกรัม บริษัท Varian, ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. ขวด Vial สีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
13. ขวด Vial ขนาด 2 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ขามระเหย
15. Ceramic Fiber
16. Paraffin film
17. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์
18. คีมคีบปากแบน (Forcep) เคลือบด้วย Teflon
19. ถุงมือไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves)
20. เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

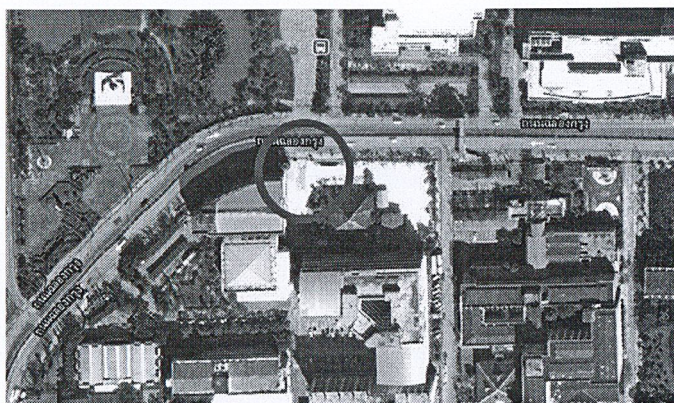
1. สารละลาย Acetonitrile เกรดวิเคราะห์ บริษัท Apex ประเทศสก็อตแลนด์
2. สารละลาย Hexane เกรดวิเคราะห์ บริษัท Labsystem Co., Ltd. ประเทศไทย
3. สารละลาย Dichloromethane เกรดวิเคราะห์ บริษัท Labsystem Co., Ltd. ประเทศไทย
4. สารละลาย H_3PO_4 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
5. สารละลาย โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมาตรฐานผสม 16 ชนิด บริษัท Restex ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.9% บริษัท Praxair ประเทศไทย

3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

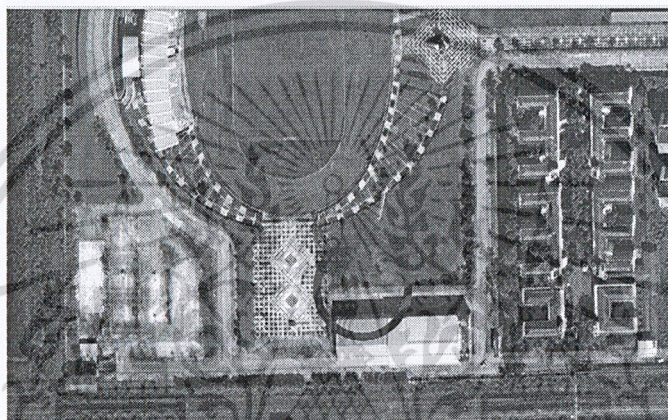
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

สถานที่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน คือ บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห่างจากถนนเป็นระยะทาง 4 เมตร ดังรูปที่ 3.1 (ก) และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้เป็น background ที่บริเวณหลังสนามเบดมินตัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรูปที่ 3.1 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

<http://maps.google.co.th/maps>

รูปที่ 3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ริมถนนจลสองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. (ก) และ background บริเวณหลังสนามแบดมินตัน สจล. (ข)

3.2.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทำการเก็บตัวอย่างที่ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องเก็บฝุ่นปริมาตรมาก (High volume air sampler)

1. ตรวจสอบกระดาศกรองควอทซ์ขนาด 17.5 ซม. × 22.5 ซม. กับแสงไฟ เพื่อตรวจสอบการฉีกขาดและรอยร้าวของกระดาศกรอง บันทึกรหัสตัวอย่าง
2. เก็บกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (คู่มือรายละเอียดในภาคผนวก ก)
3. ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองโดยเครื่องชั่งกระดาศกรอง 4 ตำแหน่ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่อย่างน้อย 3 ครั้ง (กรณีน้ำหนักไม่คงที่ ให้นำกระดาศกรองไปอบและชั่งน้ำหนักใหม่) บรรจุใส่ถุงซิปล และซองสีน้ำตาล พร้อมนำไปเก็บตัวอย่างภาคสนาม
4. ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน พร้อมกระดาศกรอง ทำการปรับเทียบอัตราการไหลที่ 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างตามคู่มือการใช้เครื่องเก็บฝุ่นปริมาตรมาก เริ่มทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลเริ่มต้น ได้แก่ เวลาที่เก็บตัวอย่าง อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และสภาพทั่ว ๆ ไป
5. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ที่อัตราการไหล 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. หลังจากการเก็บตัวอย่างครบเวลาแล้ว บันทึกข้อมูลหลังการเก็บตัวอย่างได้แก่ เวลาที่เก็บตัวอย่าง อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และสภาพทั่ว ๆ ไป จากนั้น ถอดกระดาศกรองออกจากเครื่องเก็บฝุ่น พับกระดาศกรองครึ่งหนึ่งตามแนวยาวให้ด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน
7. เก็บกระดาศกรองใส่ในถุงซิปล และนำไปเก็บในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองด้วยเครื่องชั่งกระดาศกรอง 4 ตำแหน่ง (วิธีเดียวกันกับก่อนเก็บตัวอย่าง)
9. ทำ Trip blank โดยนำกระดาศกรองไปยังภาคสนาม แต่ไม่ต้องเก็บตัวอย่าง
10. นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบรรยากาศ
11. เก็บตัวอย่าง background เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้เครื่อง TOC Analyzer

3.3.2.1 การเตรียมถ้วยใส่ตัวอย่าง

1. นำถ้วยใส่ตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 20 นาที
2. นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลอง

3.3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1) การสร้างกราฟมาตรฐานของ TC

1. ชั่งกลูโคส หนัก 74.30 mg, 50.16 mg, 24.80 mg, 10.43 mg และ 0.00 mg

ตามลำดับ ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่าง

2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC Analyzer
3. นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

2) การสร้างกราฟมาตรฐานของ IC

1. ชั่ง Na_2CO_3 หนัก 202.40 mg, 102.00 mg, 50.12 mg, 25.30 mg และ 0.00 mg

ตามลำดับ ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่าง

2. ปิดด้วย Ceramic Fiber
3. นำเข้าเครื่อง TOC Analyzer
4. ฟัน H_3PO_4 1 ml ลงบนตัวอย่าง
5. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC Analyzer
6. นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

3.3.2.3 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของแข็งโดยใช้เครื่อง TOC Analyzer

จาก Solid Sample Module for TOC Analyzer

1. ตัดกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่น ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 30 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วยตัวอย่าง คลุมด้วยแผ่นเซรามิกซ์
2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC Analyzer
3. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ
4. ทำเช่นเดียวกันข้อ 1 แต่ใช้กระดาษที่เป็น Trip blank แทน
5. คำนวณหา %TOC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.3.3.1 การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด

สกัดตัวอย่างฝุ่นบนกระดาษกรองโดยประยุกต์วิธีของ The Compendium Method TO -13A (U.S. EPA, 1999; มงคล และคณะ, 2550) มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร แล้วตัดแยกให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในขวด Vial สีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในขวด Vial สีชา ปิดฝาให้สนิทแล้วพันฝาขวดด้วย paraffin film
3. สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator ที่มีกำลังเขย่า 154 Hz เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Ultrasonicator โดยเติมน้ำแข็ง เพื่อป้องกันการระเหยของสารประกอบฟีนอล
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน (nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในขวด Vial สีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
5. สกัดกระดาษกรองในข้อ 3 ซ้ำโดยใช้สารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยสกัดตามข้อ 3-4
6. นำสารที่กรองได้จากข้อ 4 และข้อ 5 มาใส่รวมกันในขวดก้นกลม นำไประเหยตัวทำละลายออก โดยใช้เครื่องหมุนระเหยความดันต่ำ 100 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนเหลือปริมาตรประมาณ 1 มิลลิลิตร
7. Clean-up สารละลายที่สกัดได้ โดยใช้ C18 cartridge ขนาด 3 มิลลิลิตร และมีน้ำหนัก 500 มิลลิกรัม ก่อนการใช้ C18 cartridge ต้อง Condition ด้วยสารละลายผสม Hexane กับ Dichloromethane อัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
8. ใช้ dropper คูดสารละลายตัวอย่างในข้อ 6 ลงใน C18 cartridge ถัดด้วยสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวด Vial สีชาขนาด 2 มิลลิลิตร ด้วย Acetonitrile
9. ชะสารละลายตัวอย่างโดยใช้ 20% Dichloromethane ใน Hexane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ฟนก๊าซไนโตรเจน เพื่อลดปริมาตรสารละลายตัวอย่างลงเหลือ 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยเครื่อง GC-MS/SIM Mode โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานผสมฟีนอล 16 ชนิด โดยใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM

Parameters	Condition
Gas Chromatograph	6890 N (Agilent Technologies, USA)
Carrier gas	Helium, Flow rate 1 ml/min
Column	HP 5, 30 m × 0.25 mm I.D. × 0.25 μm (film thickness) capillary column (J&W Scientific, USA)
Injection temperature	290 °C
Temperature program ramp rate	Oven temperature 80 °C (initial temperature), holding at 80°C for 2 mins, then increased from 80 °C to 150 °C at 20 °C/ min, holding at 150 °C for 10 mins, next increased from 150 °C to 285 °C at 5°C/min, then increased from 285°C to 300°C at 3°C/min and hold at 300°C for 7 mins.
Injector mode splitless	1 μm
Purge flow split vent	60 ml/min @ 1°C
Final temperature	300 °C
Final hold time	10 mins
Analytical time	50 mins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สภาวะของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณ โพลีไซคลิกอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM

Parameters	Condition
Detector	Mass Spectrometer 5973 N (Agilent Technologies, USA)
MS mode	EI mode (SIM mode)
MS detector temperature	300 °C
Mass range / scan speed	30-500 amu/sec
Transfer line temperature	300 °C
Filament / multiplier delay	6 mins

3.3.3.2 การวิเคราะห์หาร้อยละการกลับคืนของสารตัวอย่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

นำกระดาษกรองเปล่าที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น ตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มาเติมสารละลายมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่ทราบความเข้มข้นเท่ากับ 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ไว้ใน plate ที่ปิดฝาแล้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

- นำกระดาษกรองที่ Spike ด้วยสารละลายมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแล้ว มาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในขวด Vial สีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
- เติมสารละลาย Acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในขวด Vial สีชาปิดฝาให้สนิท แล้วพันฝาขวดด้วย paraffin film
- สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator ที่มีกำลังเขย่า 154 Hz เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Ultrasonicator โดยการเติมน้ำแข็งเพื่อป้องกันการระเหยของสารประกอบฟีนอล
- ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 4-10 ในหัวข้อ 3.3.3.1

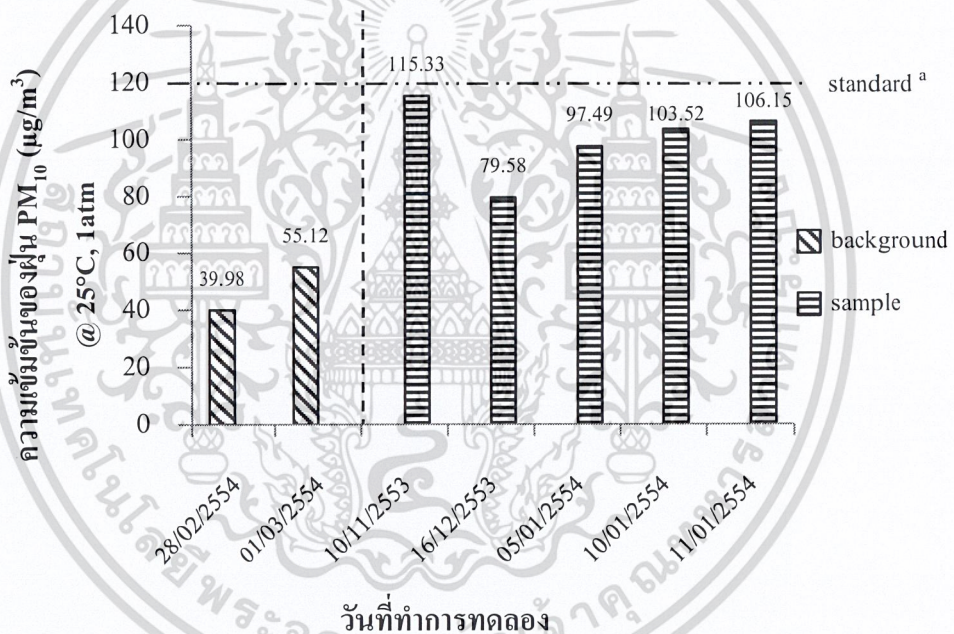
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณถนน ฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 – เดือนมีนาคม พ.ศ.2554 เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังนี้



หมายเหตุ :^a ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2547)

รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณถนนฉลองกรุง
หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

จากการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณ background สนามเบดมินตัน สจล. พบว่ามีความเข้มข้น 38.98 µg/m³ และ 55.12 µg/m³ ในวันที่

28/2/2554 และวันที่ 1/3/2554 ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

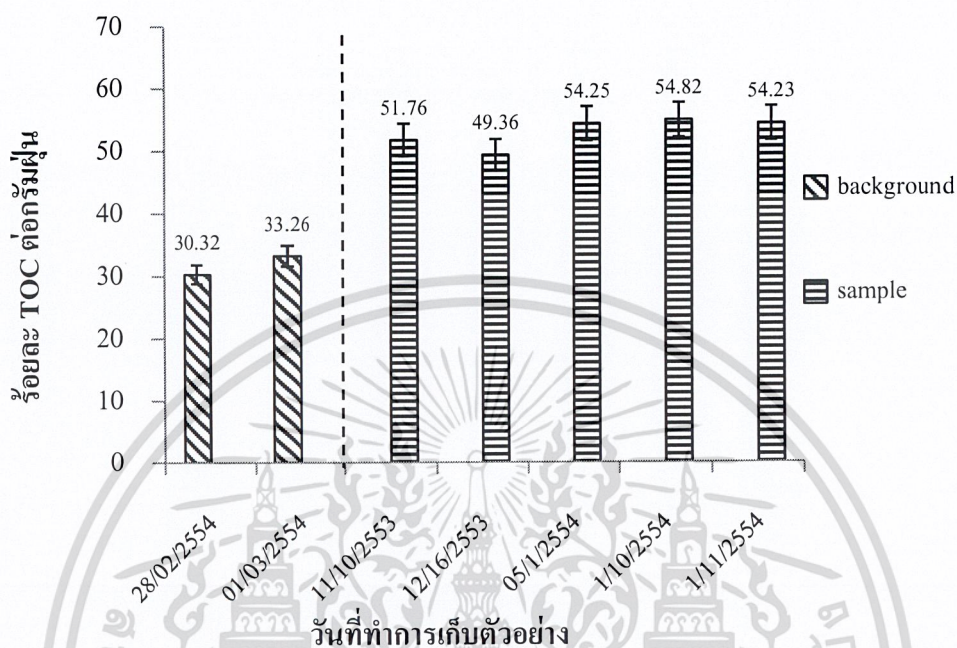
สจล. ที่ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 10/11/2553 มีค่า $115.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, วันที่ 16/12/2553 มีค่า $79.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, วันที่ 5/1/2554 มีค่า $97.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, วันที่ 10/1/2554 มีค่า $103.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และวันที่ 11/1/2554 มีค่า $106.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข -1, ภาคผนวก ข) พบว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นริมถนนมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 2 พ.ศ. 2547) วันที่ 16/12/2553 ที่มีค่าความเข้มข้นฝุ่นต่ำเป็นผลเนื่องมาจากเป็นวันที่มีฝนตก ขณะที่ในวันที่ 11/01/2554 มีฝนตกเช่นเดียวกันแต่มีความเข้มข้นสูงกว่าวันที่ 16/12/2553 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของความเร็วลม (ตารางที่ ข - 3, ภาคผนวก ข) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheng และคณะ (2006) ส่วนวันที่ 10/11/2553 มีความเข้มข้นฝุ่นละอองมากกว่าวันอื่น ๆ เนื่องมาจากเป็นวันที่มีความเร็วลมต่ำ นอกจากนี้บริเวณที่เก็บตัวอย่างยังมีการก่อสร้างทางเดินเท้า ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นที่ได้อาจไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดที่เป็นรถยนต์เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ ข - 3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข - 3, ภาคผนวก ข) นอกจากนี้ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า $10 \mu\text{m}$ ยังขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของการจราจร และประเภทของรถยนต์ที่วิ่งผ่าน

จากการใช้ ANOVA ทดสอบค่าทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นฝุ่นบริเวณ background และบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% โดยที่ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นฝุ่นละออง บริเวณริมถนนคลองกรุง ($100.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่ามากกว่าความเข้มข้นฝุ่นบริเวณ background ($47.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ทั้งนี้เนื่องจากริมถนนคลองกรุง มีแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM_{10} จากรถยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Furusjö และคณะ(2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀)

ปริมาณร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ศึกษาโดยการนำกระดาศกรองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC Analyzer ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.2 ร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

จากการศึกษาสารอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฝุ่นละอองขนาด PM₁₀ พบว่าสารอินทรีย์คาร์บอนบริเวณ background ในวันที่ 28/2/2554 และวันที่ 1/3/2554 มีค่า $30.32 \pm 2.68\%$ และ $33.26 \pm 3.92\%$ ตามลำดับ ส่วนบริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในวันที่ 10/11/2553 มีค่า $51.76 \pm 4.44\%$, วันที่ 16/12/2553 มีค่า $49.36 \pm 1.28\%$, วันที่ 5/1/2554 มีค่า $54.25 \pm 11.90\%$, วันที่ 10/1/2554 มีค่า $54.82 \pm 12.94\%$ และวันที่ 11/1/2554 มีค่า $54.23 \pm 5.81\%$ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค - 1, ภาคผนวก ก) พบว่าร้อยละของ TOC มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นฝุ่นละอองเนื่องจากฝุ่นละอองจะมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Viidanoja และคณะ (2002)

จากการใช้ ANOVA ทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์คาร์บอนบริเวณ background และบริเวณริมถนนทดลองกรุง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% โดยที่ค่าเฉลี่ยสารอินทรีย์คาร์บอนบริเวณริมถนนทดลองกรุง (52.88%) มากกว่าบริเวณ background (31.79%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

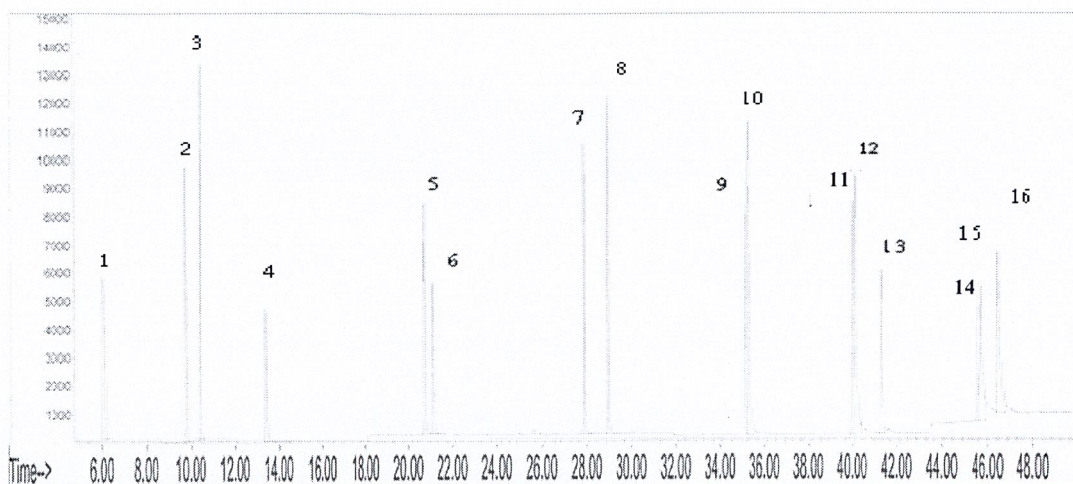
4.3 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก-

ไฮโดรคาร์บอน

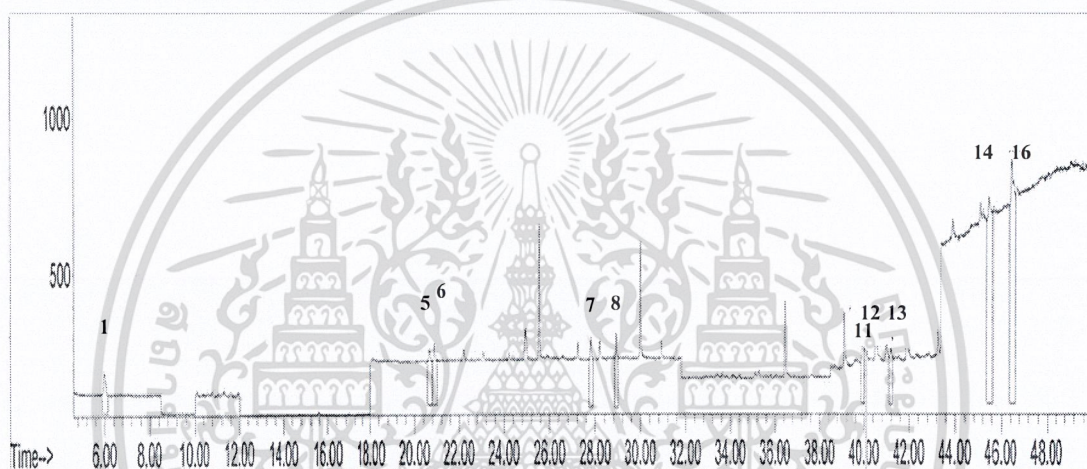
ชนิดและปริมาณสารประกอบพีเอเอช ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ศึกษาโดยการสกัดด้วย Acetonitrile จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS (SIM mode) โดยชนิดของสารประกอบพีเอเอช วิเคราะห์โดยเทียบกับ Retention time ของสารละลายมาตรฐานผสมของสารประกอบพีเอเอช 16 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ร่วมกับ Library ของ GC-MS ส่วนปริมาณของสารประกอบพีเอเอช กำหนดโดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสมของสารประกอบพีเอเอช 16 ชนิด (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ง - 1, ภาคผนวก ง)

จากร้อยละการกลับคืนของสารละลายมาตรฐานพีเอเอชพบว่า แนฟทาซีนมีร้อยละการกลับคืน 93±1.41% ฟรีแนทรีนมีร้อยละการกลับคืน 84±1.41% และแอนทราซีนมีร้อยละการกลับคืน 82±2.83% ส่วนสารประกอบพีเอเอชชนิดอื่น ๆ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ง - 4, ภาคผนวก ง) ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าเทคนิคในการสกัดนั้น มีประสิทธิภาพในการสกัดแนฟทาซีน ฟรีแนทรีน และแอนทราซีน จากผลการทดลองพบเพียงแนฟทาซีน มีความเข้มข้น 13.58, 17.21, 13.68, 7.86 และ 14.05 µg/g ในตัวอย่างที่เก็บในวันที่ 10/11/2553, 16/12/2553, 05/01/2554, 10/01/2554, 11/01/2554 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง - 3, ภาคผนวก ง) นอกจากนี้ยังพบไพรีน มีความเข้มข้น 19.75 µg/g ในตัวอย่างวันที่ 10/01/2554 และตัวอย่างที่ทำการเก็บในวันที่ 11/01/2554 พบฟรีแนทรีน แอนทราซีน ฟลูออแรนทรีน ไพรีน เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทรีน เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทรีน เบนโซ(เอ)ไพรีน อินดีโน(1,2,3-ซีดี)ไพรีน และ เบนโซ(จี เอช ไอ)ไพรีน มีความเข้มข้น 4.22, 1.19, 1.59, 4.40, 0.40, 1.11, 4.70, 0.62 และ 2.31 ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ง - 2 ถึง ง - 3, ภาคผนวก ง) จากการทดลอง พบแนฟทาซีน ในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีประสิทธิภาพในการสกัดแนฟทาซีนได้ดี นอกจากนี้ แนฟทาซีน จะพบมากในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khalili และคณะ (1995) การที่ไม่พบสารประกอบพีเอเอชชนิดอื่น ๆ ในฝุ่นละอองนอกจากแนฟทาซีน อาจเป็นเพราะใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อยเกินไป และประสิทธิภาพในการสกัดยังไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

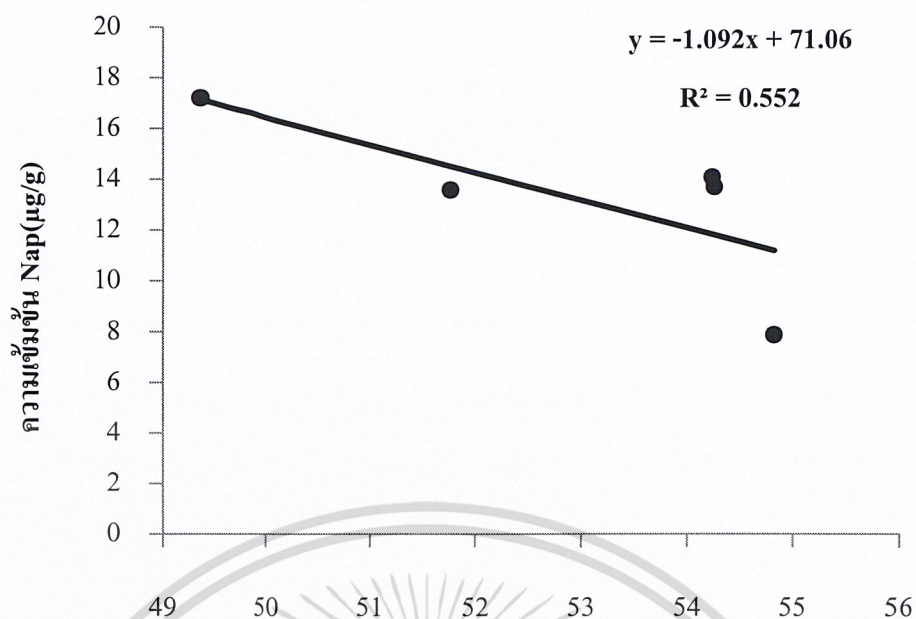


(ข)

รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรติก-ไฮโดรคาร์บอน (ก) โครมาโทแกรมของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรติก-ไฮโดรคาร์บอนของตัวอย่างที่ทำการเก็บในวันที่ 11/01/2554 (ข)

จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC และความเข้มข้นสารประกอบพีเอเอช โดยการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC ที่วิเคราะห์ได้จากกระดาษกรองตัวอย่าง และความเข้มข้นของเนฟทาลีน แสดงดังรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC และความเข้มข้นของเนฟทาซีน (µg/g)

จากกราฟพบว่าร้อยละ TOC และความเข้มข้นของเนฟทาซีนมีความสัมพันธ์แบบถดถอยที่ $R^2 = 0.552$ จากการทดสอบค่าทางสถิติ พบว่ามีค่า Pearson correlation เท่ากับ -0.744 อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้อาจได้ความสัมพันธ์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไปและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างสั้นเกินไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด PM_{10} บริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2553 ถึง มีนาคม 2554 มีความเข้มข้นระหว่าง $79.58 - 115.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน $49.36 - 54.82\%$ ซึ่งแตกต่างจาก background อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% พบแนฟทาลินใน PM_{10} มีความเข้มข้นระหว่าง $7.86 - 17.21 \mu\text{g}/\text{g}$ และพบว่าร้อยละ TOC และความเข้มข้นของแนฟทาลินมีความสัมพันธ์แบบถดถอยและมีค่า Pearson correlation เท่ากับ -0.744

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มปริมาณฝุ่นละอองในการวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
2. ควรมีการนับจำนวนรถยนต์ และประเภทของรถยนต์ที่วิ่งผ่านสถานที่เก็บตัวอย่าง
3. ควรมีการเพิ่มจำนวนและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง
4. ควรมีการวัดค่าทางอุตุนิยมวิทยา บริเวณที่เก็บตัวอย่าง
5. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และสารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น การเผาไหม้ชีวมวล การเผาขยะ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม สอ.4. 2010. “ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5} และ PM₁₀)”. [online]. Available: <http://hpe4.anamai.moph.go.th/hia/pm2health.php>. 2010.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2547. “เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป”. [online]. Available: http://www.aqnis.pcd.go.th/activity_event/PM10/mainactivity01.htm. 2553

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2552. “เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป”(ร่าง). [online]. Available: http://www.aqnis.pcd.go.th/activity_event/PM10/mainactivity01.htm. 2553

มงคล ราชนาคร, สมพร จันทระ, สุนันทา ว่างานต์, อุไร เต็งเจริญกุล, พิสิทธิ์ กิจสวัสดิ์ไพบูลย์, พรชัย จันตา, อิงอร ชัยศรี, วัลยา แสงจันทร์ และดุจเดือน แสงบุญ. 2550. โครงการวิเคราะห์เพื่อหามลพิษทางอากาศในอนุภาคฝุ่นในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน. รายงานฉบับสมบูรณ์. สกว.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. **Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. US Department of Health and Human Services, Public Health Services. Available: [online] <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.html>

Alsberg, T., Karstensen, K.H. and Kalevi, K. 1985. **Chemical and Biological Characterization of Organic Material from Gasoline Exhaust Particles**. Environmental Science and Technology. 46 : 423-437.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bae, S.Y., Yi, S.M. and Kim, Y.P. 2002. **Temporal and Spatial Variation of the Particle Size Distribution of PAHs and their Dry Deposition Flux in Korea.** Atmospheric Environmental. 36 : 5491-5500.
- Baek, S.O., Field R.A. and Goldstone, M.E. 1991. **A Review of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources Fate and Behavior.** Water, Air and Soil Pollution. 60 : 279-300.
- Behymer, T. and Hites, R. 1988. **Photolysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Adsorbed on Fly Ash.** Environmental Science and Technology. 22 : 1311-1319.
- Bjorseth, A. and Ramdahl, T. 1985. **Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Volume 2,** In: Bjorseth, A. and Ramdahl, T. ed. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Bond, T.C., Streets, D.G. and Yarber K.F. 2004. **A Technology Based Global Inventory of Black and Organic Carbon Emissions from Combustion.** J. Geophys. Res., 109 : D14203, doi:10.1029/2003JD003697.
- Boonyatumanond, R., Murakami M., Wattayakorn, G., Togo, A. and Takada, H, 2007. **Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Street Dust in a Tropical Asian Megacity, Bangkok, Thailand.** Science of the Total Environment. 384 : 420-432.
- Butler, J.D. and Crossley, P. 1981. **Reactivity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Adsorbed on Soot Particles.** Atmospheric Environment. 15 : 91-94.
- Cao, J.J., Zhu, C.H., Chow, J.C., Watson, J.G., Han, Y.M., Wang, G.H., Shen, Z.X. and An, Z.S. 2009. **Black Carbon Relationships with Emissions and Meteorology in Xi'an, China.** Atmospheric Research. 94 : 194 -202.
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demkritou, P. and Koutrakis, P. 2003. **Measurement of PM₁₀ and PM_{2.5} Particle Concentration in Athens.** Atmospheric Environment. 39 : 649-660.
- Cheng, Y., Ho, F.K., Lee, C.S. and Law, W.S. 2006. **Seasonal and Diurnal Variations of PM_{1.0}, PM_{2.5} and PM₁₀ in the Roadside Environment of Hong Kong, China** Particology. 4 : 312-315.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chetwittayachan, T., Shimazaki, D. and Yamamoto, K. 2002. **A Comparison of Temporal Variation of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Concentration in Different Urban Environments: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand.** Atmospheric Environment. 36 : 2027-2037.

Daisey, J.M., Cheney, J.L. and Lioy, P.J. 1986. **Profiles of Organic Particulate Emission from Air Pollution Sources: Status and Need for Receptor Sources Apportionment Modeling.** Journal of the Air Pollution Control Association. 36 : 17-33.

Dickhut, R.M., Canuel, E.A., Gustafson, K.E., Liu, K., Arzayus, K.M., Walker, S.E., Edgecombe, G., Gaylor, M.O. and Macdonald, E.H. 2000. **Automotive Sources of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Particulate Matter on the Chesapeake Bay Region.** Environmental Science and Technology. 34 : 4635-4640.

Dong, T.T.T. and Lee, B.K. 2009. **Characteristics, Toxicity, and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Road Dust of Ulsan, Korea.** Chemosphere. 74 : 1245-1253.

Fang, G.C., Chang, C.N., Wu, Y.S., Fu, P.P., Yang, I.L., and Chen, M.H. 2004. **Characterization, Identification of Ambient Air and Road Dust Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Central Taiwan, Taichung.** Science of the Total Environment. 327 : 135-146.

Furusjö, E., Sternbeck, J. and Cousins, P.A. 2007. **PM₁₀ Source Characterization at Urban and Highway Roadside Locations.** Science of the Total Environment. 387 : 206–219.

Godish, T. 2004. **Air Quality.** Lewis Publishers. New York. 55-67.

Guo, H., Lee, S.C., Ho, K.F., Wang, X.M. and Zou, S.C. 2003. **Particle-associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Air of Hong Kong.** Atmospheric Environment. 37 : 5307-5317.

Hassanien, M.A. and Abdel-Latif, N.M. 2008. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Road Dust Over Greater Cairo, Egypt.** 151 : 247-254.

Holler, R., Tohnoa, S. and Kasaharaa M. 2002. **Long-term Characterization of Carbonaceous Aerosol in Uji, Japan.** Atmospheric Environment. 36 : 1267–1275.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Holloway, M.P., Bigalow, M.C., McCoy, E.C., Anders, M., Rosenkranz, H.S. and Howard, P.C. 1987. **Photochemical Instability of 1-nitropyrene, 3-nitrofluoranthene, 1,8-dinitropyrene and their Parent Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.** Mutation Research. 187 : 199-207.

International Agency for the Research on Cancer (IARC) 1984. **The Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans.** Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Vol 32 : 57-447.

International Program on Chemical Safety Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. (IPCS). 1998. **Environmental Health Criteria 202.** World Health Organization, Geneva.

Jenkins, B.M., Jones, A.D., Turn, S.Q. and Williams, R.B. 1996a. **Emission Factors for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Burning.** Environmental Science and Technology. 30 : 2462-2469.

Jenkins, B.M., Jones, A.D., Turn, S.Q. and Williams, R.B. 1996b. **Particle Concentrations, Gas-Particle Portioning and Species Inter Correlation for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Emitted During Biomass Burning.** Atmospheric Environmental. 30 : 3825-3835.

Kamens., R.M., Bell, D.A., Perry, J.M. Goodman, R.G., Dietrich, A. and Tejada, S. 1985. **Airborne Mutagenic Transformations of Dilute Wood Smoke Systems: Analysis of Selected HPLC Fractions from Wood Smoke Particle Extracts.** Environmental Science and Technology. 19 : 63-70.

Kamens., R.M., Fulcher., J.N. and Zhishi G. 1986. **Effect of Temperature on Wood Soot: PAH Decay in Atmospheres with Sunlight and Low NO_x.** Atmospheric Environment. 20 : 1579-1587.

Kamens, R.M. Karam, H., Gou, J., Perry, J. and Stockburger, L. 1989. **The Behavior of Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Soot Particles.** Environmental Science and Technology. 23: 801-805.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kamens, R.M. and Jang, M. 1998. **A Thermodynamic Approach for Modeling Partitioning of Semivolatile Organic Compounds on Atmospheric Particulate Matter, Humidity Effects.** Environmental Science and Technology. 32 : 1237-1243.
- Kavouras, I.G., Koutrakis, P., Tsapakis, M., Lagoudaki, E., Stephanou, E.G., Von Baer, D. and Oyola, P. 2001. **Source Apportionment of Urban Particulate Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) using Multivariate Methods.”** Environmental Science and Technology. 35 : 2288-2294.
- Keshtkar, H. and Ashbaugh, L.L. 2007. **Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Particulate Emission Factors from Agricultural Burning.** Atmospheric Environment. 41 : 2729-2739.
- Khalili, N.R., Scheff, P.A. and Holsen, T.M. 1995. **PAH Source Fingerprints for Coke Ovens, Diesel and Gasoline Engines, Highway Tunnels and Wood Combustion Emissions.** Atmospheric Environment. 29 : 533 - 542.
- Kiss, G., Varga, Z., Rohrbacher, G. and Hlavay, J. 1998. **Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Atmospheric Aerosol Particle of Different Sizes.** Atmospheric Research. 46 : 253-261.
- Lee, M.L. and Wright, B.W. 1980. **Capillary Column Gas Chromatography of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (A review).** Journal Chromatography. 18 : 345-358.
- Li, C.K. and Kamens, R.M. 1993. **The Use of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons as Source Signatures in Receptors Modeling.** Atmospheric Environment. 27 : 523-532.
- Lindskog, A. 1983. **Transformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Sampling.** Environmental Health Perspectives. 47 : 81-84.
- Liu, M., Cheng, S.B., Ou, D.N., Hou, L.J., Gao, L., Wang, L.L., Xie, Y.S., Yang, Y.S. and Xu, Y. 2007. **Characterization, Identification of Road Dust PAHs in Central Shanghai Areas, China.** Atmospheric Environment. 41 : 8785–8795.
- Masclat, P., Bresson, M.A. and Mouvier, G. 1987. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Emitted by Power Stations and Influence of Combustion Condition.** Fuel. 66 : 556-562.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Menichini, E., Monfredini, F. and Merli, F. 1999. **The Temporal Variability of the Profile of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban air : A Study in Medium Traffic Area in Rome.** Atmospheric Environment. 33 : 3739-3750.
- Molnár, A., Mészáros, E. and Hansson H.C. 1999. **The Importance of Organic and Elemental Carbon in the Fine Atmospheric Aerosol Particles.** Atmospheric Environment. 33 : 2745-2750.
- Pankow, J.F. 1991. **Common y-intercept and Single Compound Regressions of Gas-partitioning Data VS 1/T.** Atmospheric Environment. 25 : 2229-2239.
- Panther, B.C., Hooper, M.A. and Tapper, N.J. 1999. **A Comparison of Air Particulate Matter and Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Some Tropical and Temperate Urban Environments.** Atmospheric Environment. 33 : 4087-4099.
- Rao, M.N and Rao, H.V.N. 1994. **Air Pollution.** Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 43-79.
- Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass. G.R., and Simoneit, B.R.T. 1993. **Source of Fine Organic Aerosol, Non-catalyst and Catalyst-equipped Automobiles and Heavy Duty Diesel Truck.** Environmental Science and Technology. 27 : 636-651.
- Shimadzu Corporation Analytical and Measuring Instrument Division Kyoto. Solid Sample Module for TOC Analyzer. **User's Manual.** Japan.
- Smith, D.J.T. and Harrison, R.M. 1996. **Concentrations, Trends and Vehicle Source Profile of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the UK.** Atmospheric Environment. 30 : 2513-2525.
- U.S. EPA. 1986. **Carcinogen Classification, National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development.** Washington, EPA-600/R-93-089.
- U.S. EPA. 1999. **Compendium Method TO-13A, Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).** Washington, EPA/625/R-96/010b : 13A-11-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Venkataraman, C., Thomas, S. and Kulkarni, P. 1999. **Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Gas-particle Partitioning to Urban Aerosols.** Journal of Aerosol Science. 30 : 759-770.
- Viidanoja, J., Sillanpaa, M., Laakia, J., Kerminen, V.M., Hillamo, R., Aarnio, P. and Koskentalo, T. 2002. **Organic and Black Carbon in PM_{2.5} and PM₁₀ : 1 Year of Data from an Urban Site in Helsinki, Finland.** Atmospheric Environment. 36 : 3183 - 3193.
- Wark, K., Warner, C.F. and Davis, W.T. 1998. **Air Pollution Its Origin and Control.** Addison-Wesley. California. 14-15.
- Watson, J.G. 2002. **Visibility: Science and Regulation[J].** J. Air & Waste Manage Assoc. 52 : 628-713.
- World Health Organization (WHO) 2006. **Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen dioxide and Sulfur dioxide Global Update 2006.**
- Yang, H.H., Tai, C.H., Chao, M.R., Su, Y.L. and Chein, S.M. 2006. **Source Identification and Size Distribution of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Rice Straw Burning Period.** Atmospheric Environment. 40 : 1266-1274.
- Yamasaki, H., Kuwata, K. and Miyamoto, H., 1982. **Effect of Ambient Temperature on Aspects of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.** Environmental Science and Technology. 16(4) : 84-89.
- Zander, M. 1983. **Physical and Chemical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.** In : Bjorseth. ed, Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Marcel Dekker, Inc., New York.
- [online]. Available : <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm>. (2010)
- [online]. Available : <http://maps.google.co.th/maps?hl=th&tab=il&q=พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง>. (2010)
- [online]. Available : <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php>. (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก การเตรียมกระดาษกรองด้วยวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA, 1999 และกรมควบคุมมลพิษ,
2546

งานวิจัยนี้ใช้กระดาษกรองควอตซ์มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคฝุ่นละออง 98.5% สภาพ pH เป็นกลาง ความหนาแน่น 6.51 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทนต่อการกัดกร่อนของสภาพอากาศ และทนอุณหภูมิได้สูงสุด 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อวิเคราะห์หาสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1) อบกระดาษกรองควอตซ์ ขนาด 17.5 ซม. × 22.5 ซม. ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (U.S. EPA, 1999) เพื่อไล่สารปนเปื้อนออกให้หมด

2) นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบในเตาเผา เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ (หากความชื้นสัมพัทธ์สูงเกิน แก้ไขโดยการนำถาดซิลิเจลไปวางในตู้ทุกครั้ง จนค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ก่อนอบกระดาษกรองในตู้ดูดความชื้น ให้ทำความสะอาดตู้ก่อนทุกครั้ง) อุณหภูมิห้อง ระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงเก็บตัวอย่างกระดาษกรองไว้ในถุงซิปลาสติก และเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น อีก 2-3 ชั่วโมง เพื่อให้มีการดูดความชื้นในถุงซิปลาสติกอีกครั้ง

3) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง ก่อนชั่งกระดาษกรองให้เปิดเครื่องชั่งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อให้ค่านิ่ง ทำการสอบเทียบเครื่องชั่ง วางกระดาษกรองให้อยู่จุดกึ่งกลาง และรอให้ได้ค่านิ่ง บันทึกค่า โดยทำการชั่งซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนของน้ำหนักที่อ่านได้ โดยค่าเบี่ยงเบน ต้องไม่เกิน ± 5 มิลลิกรัม

4) บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ทั้ง 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย นำกระดาษกรองใส่ในถุงซิปลาสติก และนำมาเก็บไว้ในกล่องพลาสติกอีกครั้ง เพื่อนำไปเก็บตัวอย่างภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข - 1 การคำนวณหาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ ตัวอย่างที่ 1 $T_a = 302.15 \text{ K}$, $P_a = 0.9966 \text{ atm} = 100.95 \text{ kPa}$,

$\Delta H = 161 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$Q_{\text{display}}^2 = \frac{\Delta H(5.367)^2(P_a)}{0.340T_a}$$

$$Q_{\text{display}}^2 = [(161 \text{ mmH}_2\text{O})(5.367)^2(100.95 \text{ kPa})]/(0.340)(302.15 \text{ K})$$

$$= 4,554.9001 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Q_{\text{displa}} = 67.49 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$V_a = Q \times t$$

$$= (67.49 \text{ m}^3/\text{hr}) \times 24 \text{ hr}$$

$$= 1,619.76 \text{ m}^3$$

$$V_s = [(P_a \times V_a) \times T_s] / (T_a \times P_s)$$

$$= (0.9966 \text{ atm} \times 1619.76 \text{ m}^3 \times 298.15 \text{ K}) / (302.15 \text{ K} \times 1 \text{ atm})$$

$$= 1,592.88 \text{ m}^3$$

ความเข้มข้นฝุ่นละออง = $M_{\text{after}} - M_{\text{before}}$

$$= [(4.5528 \text{ g} - 4.3691 \text{ g}) / 1592.88 \text{ m}^3] \times 10^6 \mu\text{g/g}$$

$$= 115.33 \mu\text{g/m}^3$$

หมายเหตุ** ความเข้มข้นฝุ่นละอองของตัวอย่างที่ 2-5 และ background คำนวณเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
10/11/2553	1	4369.1	4552.8	183.7	115.33
	2	4369.2	4552.8		
	3	4369.1	4552.7		
	เฉลี่ย	4369.1	4552.8		
16/12/2553	1	4445.7	4565.7	120.0	79.58
	2	4445.7	4565.7		
	3	4445.8	4565.8		
	เฉลี่ย	4445.7	4565.7		
05/01/2554	1	4434.0	4581.6	147.5	97.49
	2	4434.1	4581.5		
	3	4434.1	4581.6		
	เฉลี่ย	4434.1	4581.6		
10/01/2554	1	4382.6	4532.4	149.8	103.52
	2	4382.5	4532.4		
	3	4382.5	4532.5		
	เฉลี่ย	4382.5	4532.4		
11/01/2554	1	4393.2	4550.6	157.4	106.15
	2	4393.3	4550.6		
	3	4393.2	4550.5		
	เฉลี่ย	4393.2	4550.6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 1 (ต่อ) ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
28/02/2544	1	4473.9	4532.8	76.7	38.98
	2	4473.9	4532.7		
	3	4473.8	4532.8		
	เฉลี่ย	4473.9	4532.8		
01/03/2554	1	4429.0	4510.1	81.1	55.12
	2	4429.0	4510.1		
	3	4429.0	4510.0		
	เฉลี่ย	4429.0	4510.1		

หมายเหตุ: วันที่ 28/02/2554 และวันที่ 01/03/2554 เป็นวันที่เก็บ background

ตารางที่ ข - 2 สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่างในแต่ละวัน

วันที่	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)		ความดัน (atm)		ΔH (mmH ₂ O)	
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง
10/11/2553	29	29	0.9978	0.9954	168.8	153.2
16/12/2553	32	30	0.9928	0.9941	154.0	143.6
05/01/2554	27	30	0.9999	0.9972	150.4	136.8
10/01/2554	26	28.2	0.9845	0.9815	150.8	120.8
11/01/2554	28	28.5	0.9858	0.9800	152.0	138.8
28/02/2544	32	33	0.9954	0.9946	158.4	142.8
01/03/2554	33	33	0.9946	0.9950	145.2	142.0

หมายเหตุ: วันที่ 28/02/2554 และวันที่ 01/03/2554 เป็นวันที่เก็บ background

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข – 3 สภาพทั่วไปบริเวณที่เก็บตัวอย่างในแต่ละวัน

วันที่	อุณหภูมิ (°C)		ทิศทางลม	ความเร็วลม (km/hr)	สภาพโดยทั่วไป
	สูงสุด	ต่ำสุด			
10/11/2553	32.2	24.5	NE	9.260	มีการก่อสร้างทางเดินเท้า
16/12/2553	32.5	25.3	NE	11.120	มีฝนตก มีแดดปานกลาง
05/01/2554	32.3	22.2	NE	11.120	ไม่มีฝน มีแดดปานกลาง
10/01/2554	31.2	22.0	ENE	3.712	ไม่มีฝน มีแดดปานกลาง
11/01/2554	30.7	21.6	NE	9.270	มีฝนตกปานกลาง แดดจัด
28/02/2554	32.8	23.3	S	12.97	ไม่มีฝน แดดจัด
01/03/2554	33.1	26.3	SSE	12.97	ไม่มีฝน แดดจัด

ที่มา: <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค - 1 ร้อยละ TOC

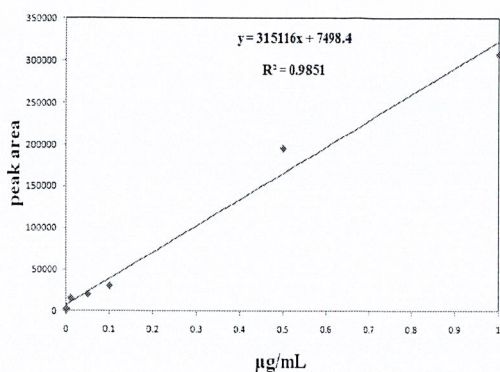
วันที่	ครั้งที่	ร้อยละ TOC ต่อกรัมฝุ่น	ร้อยละ TOC ต่อกรัมฝุ่นเฉลี่ย	S.D.
10/11/2553	1	47.79	51.76	4.44
	2	56.56		
	3	50.92		
16/12/2553	1	50.83	49.36	1.28
	2	48.49		
	3	48.75		
05/01/2554	1	59.03	54.25	11.90
	2	40.70		
	3	63.01		
10/01/2554	1	63.94	54.82	12.94
	2	60.51		
	3	40.01		
11/01/2554	1	60.11	54.23	5.81
	2	54.09		
	3	48.50		
28/02/2554	1	29.52	30.32	2.68
	2	33.31		
	3	28.14		
01/03/2554	1	37.57	33.26	3.92
	2	29.52		
	3	32.29		

หมายเหตุ: วันที่ 28/02/2554 และวันที่ 01/03/2554 เป็นวันที่เก็บ background

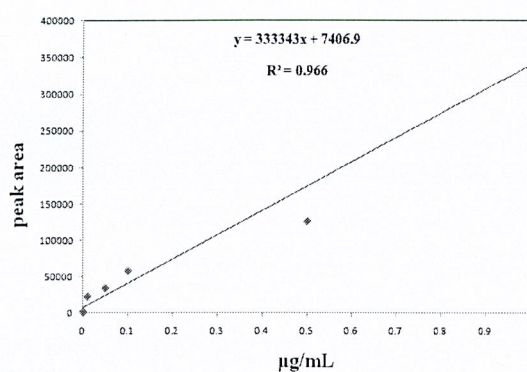
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



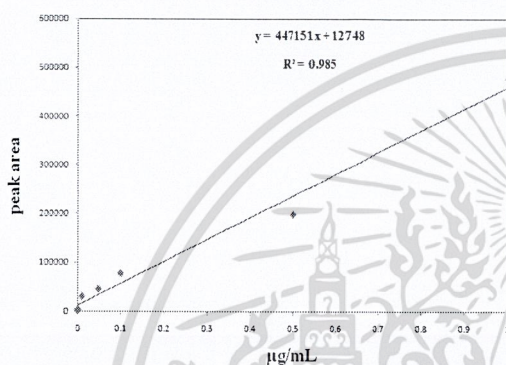
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



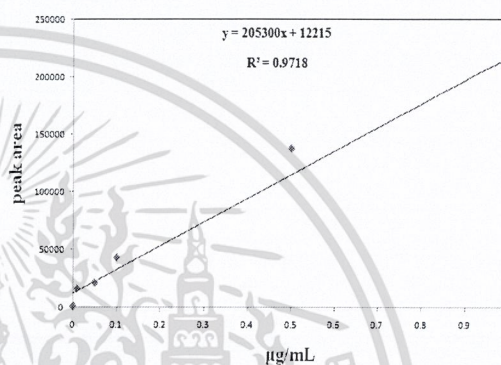
Naphthalene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)



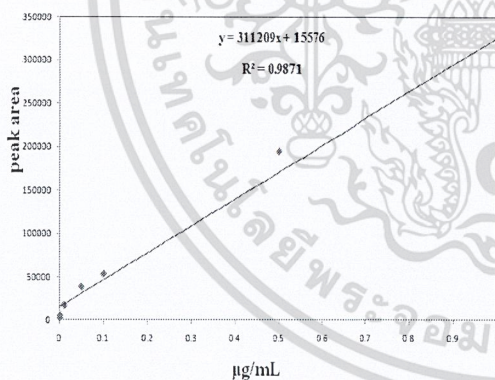
Acenaphthylene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)



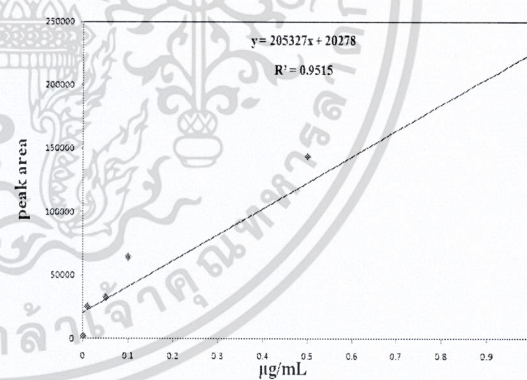
Acenaphthene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)



Fluorene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)



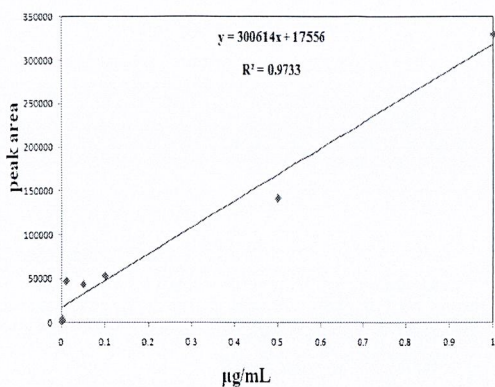
Phenanthrene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)



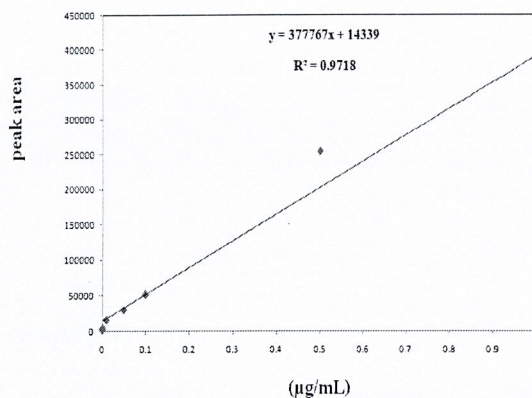
Anthracene (0.0005 µg/mL – 1 µg/mL)

รูปที่ ๑ – 1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด

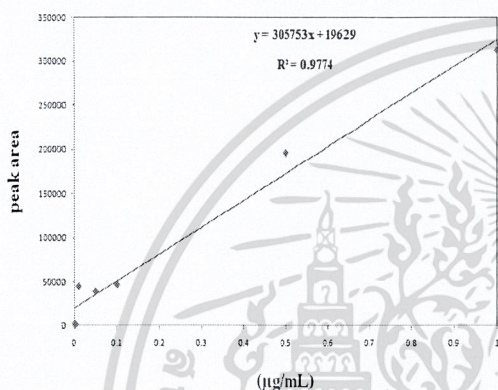
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



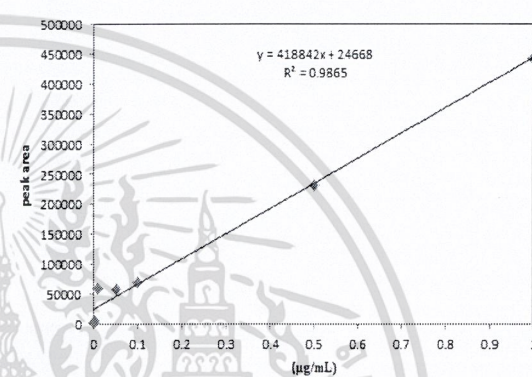
Fluoranthene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)



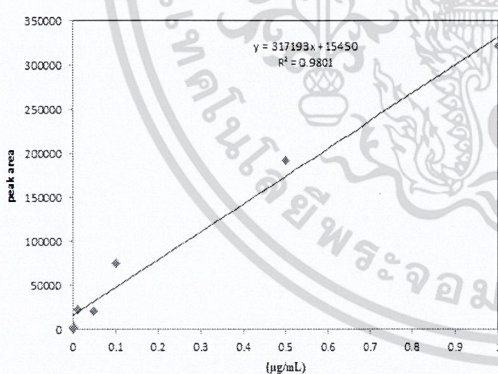
Pyrene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)



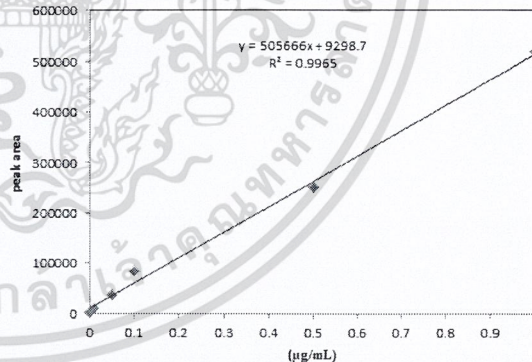
Benz(a)anthracene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)



Chrysene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)



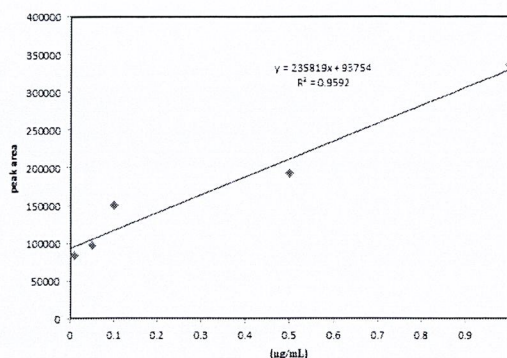
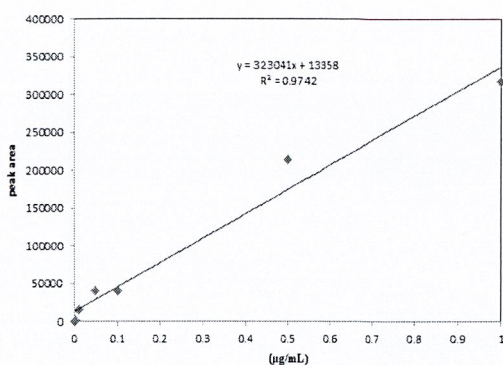
Benzo(b)fluoranthene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)



Benzo(k)fluoranthene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)

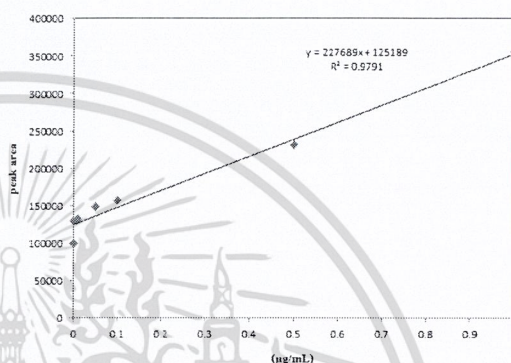
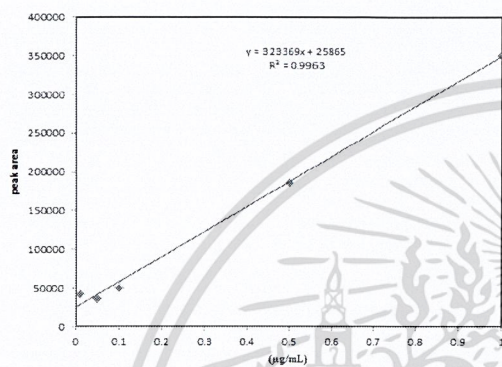
รูปที่ ๑ – 1 (ต่อ) กราฟมาตรฐานของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Benzo(a)pyrene (0.0005µg/mL – 1 µg/mL)

Indeno(1,2,3-cd)pyrene (0.0005µg/mL–1 µg/mL)



Dibenzo(a,h)anthracene (0.0005µg/mL–1 µg/mL)

Benzo(g,h,i)perylene (0.0005µg/mL– 1 µg/mL)

รูปที่ ง – 1 (ต่อ) กราฟมาตรฐานของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด

ภาคผนวก ง - 2 การคำนวณความเข้มข้นเนฟทาลิน

ตัวอย่างวิธีการคำนวณความเข้มข้นเนฟทาลินในหน่วย µg/mL

คำนวณหาความเข้มข้นของเนฟทาลินได้ โดยแทนค่าพื้นที่ใต้กราฟของเนฟทาลินตัวอย่าง

ลงไปในสมการเส้นตรง $y = 315116x + 7498.4$

จากตัวอย่างที่ 1 มีพื้นที่ใต้กราฟ คือ 13782

$$\begin{aligned}
 &= \frac{13782 - 7498.4}{315116} \\
 &= 0.0199 \text{ µg/mL}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ ความเข้มข้นเนฟทาลินในหน่วย $\mu\text{g/g}$

หาความเข้มข้นของเนฟทาลินได้ เมื่อน้ำหนักฝุ่นละอองคือ 1.4657 mg

$$C = \frac{C_1 V_1}{V_2} \times \frac{10^3}{M(\text{mg})}$$

$$C = \frac{0.0199 \mu\text{g/mL} \times 1 \text{ mL}}{1 \text{ mL}} \times \frac{10^3}{1.4657}$$

$$C = 13.5771 \mu\text{g/g}$$

ตารางที่ ๑ - 1 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานผสมสารประกอบ โพลีไซคลิกอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด

Peak No.	Com.	Retention time	Std. PAH concentrations ($\mu\text{g/mL}$)						
			0.0005	0.001	0.01	0.05	0.1	0.5	1
1	NAP	5.97	2263	2949	15451	20658	30768	195818	308147
2	ACY	9.62	1001	1820	22527	34113	57760	126000	362477
3	ACE	10.35	1682	3078	30737	45660	76566	197907	476551
4	FLU	13.25	939	1644	16431	21346	43227	138146	204878
5	PHE	20.66	2968	5355	37321	38467	53172	194857	313962
6	ANT	21.01	1852	2113	25400	24625	34544	143933	212628
7	FLA	27.80	2271	4154	47462	43814	53280	141309	330072
8	PYR	28.92	2493	4889	16523	30460	52323	254952	366390
9	BaA	35.11	1371	2477	45196	39577	47286	196069	313460
10	CHR	35.26	1706	4432	60050	57021	69766	232452	443157
11	BbF	39.91	1390	1998	22928	20171	75388	191825	321467
12	BkF	40.04	1698	4652	9514	37021	83055	251336	517979
13	BaP	41.18	703	2102	15666	40562	40154	214375	316676
14	InP	45.48	n.d.	n.d.	83836	97173	150057	192981	336184
15	DbA	45.69	n.d.	n.d.	42327	36561	49923	186654	350650
16	BgP	46.43	99975	129000	133316	148756	156630	232170	354785

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แจ้งมติหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 - พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายตัวอย่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ($\mu\text{g/g}$)

compound	Peak area									
	10/11/2553		16/12/2553		05/01/2554		10/01/2554		11/01/2554	
	ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
NAP	n.d.	13782	12765	12617	12060	13076	12782	8126	12394	13731
ACY	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ACE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FLU	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PHE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17188
ANT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20582
FLA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18155
PYR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10674	n.d.	n.d.	16423
BaA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CHR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BbF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15597
BkF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9994
BaP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15263
InP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	93939
DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BgP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	125870

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง - 3 ความเข้มข้นของตัวอย่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16

ชนิด ($\mu\text{g/g}$)

Peak No.	compound	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$)				
		10/11/2553	16/12/2553	05/01/2554	10/01/2554	11/01/2554
1	NAP	13.5771	17.2066	13.6800	7.8648	14.0548
2	ACY	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	ACE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4	FLU	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
5	PHE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.2204
6	ANT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.1945
7	FLA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.5926
8	PYR	n.d.	n.d.	n.d.	19.7456	4.3956
9	BaA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	CHR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
11	BbF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.3982
12	BkF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.1148
13	BaP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.6982
14	InP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.6211
15	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16	BgP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.3092

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 – ค่าการคืนกลับของสารละลายมาตรฐาน โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

Peak No.	compound	Peak area		Recovery (%)	S.D.
		เขตที่ 1	เขตที่ 2		
1	NAP	10397	10458	93	1.41
2	ACY	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	ACE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4	FLU	n.d.	13878	81	n.d.
5	PHE	42024	45072	84	1.41
6	ANT	30257	31124	82	2.83
7	FLA	n.d.	42206	82	n.d.
8	PYR	n.d.	53027	84	n.d.
9	BaA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	CHR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
11	BbF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
12	BkF	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
13	BaP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	InP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	DbA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16	BgP	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

หมายเหตุ : n.d. = Not detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- ศึกษาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ background และบริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ตารางที่ จ - 1 ANOVA ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	71193	7119.3	80.48	0.000
Error	8	707.6	88.5		
Total	9	7826.9			

ผลจากการทำ ANOVA ทดสอบค่าทางสถิติระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ background และบริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ด้วยโปรแกรม MINITAB พบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นฝุ่นบริเวณ background และบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

- ศึกษาความแตกต่างระหว่างร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ background และบริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ตารางที่ จ - 2 ANOVA ของร้อยละ TOC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	1115.56	1115.56	422.81	0.000
Error	8	21.11	2.64		
Total	9	1136.67			

ผลจากการทำ ANOVA ทดสอบค่าทางสถิติระหว่างร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ background และบริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ด้วยโปรแกรม MINITAB พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ TOC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ background และบริเวณถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

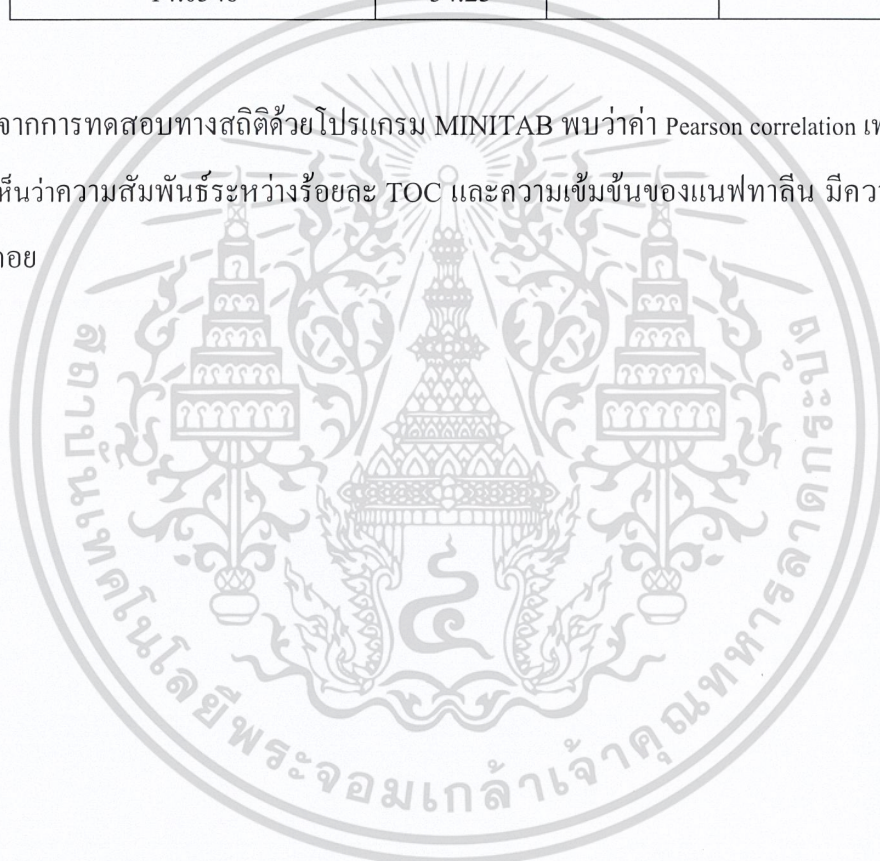
เอกสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC และความเข้มข้นของแอฟทาลีน

ตารางที่ จ – 3 Pearson correlation

ความเข้มข้นของแอฟทาลีน ($\mu\text{g/g}$)	ร้อยละ TOC	Pearson correlation	P - value
13.5771	51.76	-0.744	0.150
17.2066	49.36		
13.6800	54.25		
7.8648	54.82		
14.0548	54.23		

จากการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม MINITAB พบว่าค่า Pearson correlation เท่ากับ -0.744 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ TOC และความเข้มข้นของแอฟทาลีน มีความสัมพันธ์แบบถดถอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้